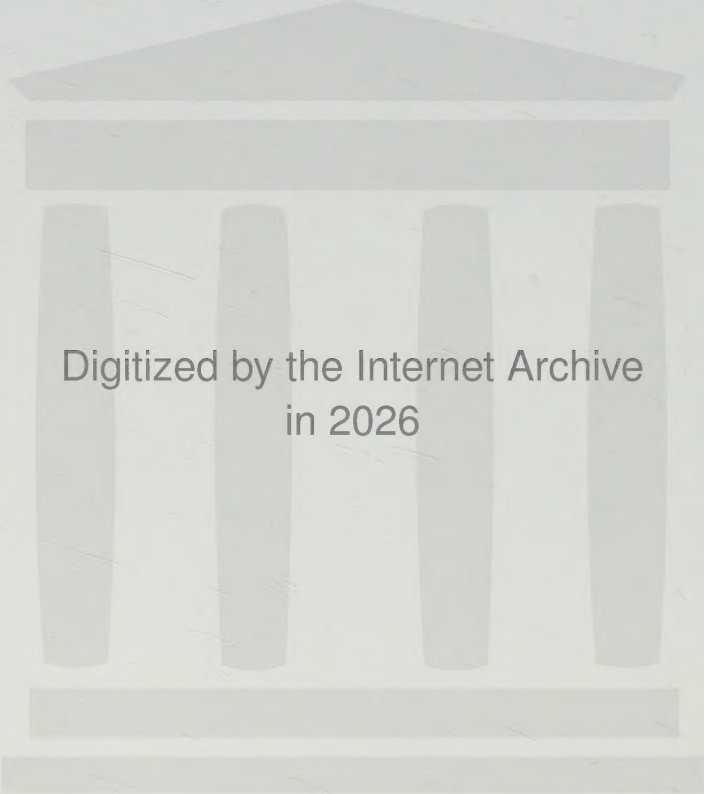


**"BLUTDRUCKVERHALTEN UNTER
FAHRRADERGOMETRISCHER BELASTUNG
BEI ESSENTIELLER HYPERTONIE UND BEI
ISOLIERTER AORTENISTHMUSSTENOSE
IM KINDES - UND JUGENDALTER "**

VICTOR VERPOORTEN

1987



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554822_0100

AUS DER KLINIK FÜR HERZ- UND KREISLAUFERKRANKUNGEN
IM KINDESALTER
DEUTSCHES HERZZENTRUM MÜNCHEN DES FREISTAATES BAYERN
VORSTAND: PROF. DR. K. BÜHLMAYER
.....

"BLUTDRUCKVERHALTEN UNTER FAHRRADERGOMETRISCHER
BELASTUNG BEI ESSENTIELLER HYPERTONIE UND BEI
ISOLIERTER AORTENISTHMUSSTENOSE IM KINDES- UND
JUGENDALTER."

DISSERTATION
ZUM ERWERB DES DOKTORGRADES DER MEDIZIN
AN DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER
LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

VORGELEGT VON

VICTOR VERPOORTEN
.....

AUS

BONN
.....

JAHR

1987
....

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. K. Bühlmeyer

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H.-B. Hadorn

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. G. Schumacher

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 16.04.1987

Herrn Prof. Dr. med. K. Bühlmeier danke ich vielfmals
für die freundliche Überlassung des Themas.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. G. Schumacher
für seine stets bereitwillige Hilfe und seine zahl-
reichen Anregungen bei der Abfassung der Arbeit.

Ebenso möchte ich mich an dieser Stelle bei
Herrn Dr. med. Augustin für die Unterweisung in der
Bedienung des Rechencomputers im Deutschen Herzzentrum
bedanken.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. <u>Einleitung/Problemstellung</u>	8
2. <u>Geschichte der Blutdruckmessung</u>	17
3. <u>Technik der Blutdruckmessung</u>	24
3.1 Blutdruckmessung in Ruhe und unter Ergometrie	24
3.2 Fehlerquellen	27
3.3 Normwerte des Blutdruckes für das Kindes- und Jugendalter in Ruhe	28
4. <u>Ergometrie</u>	31
4.1 Allgemeine Untersuchungsbedingungen	31
4.2 Indikationen und Kontraindikationen der Ergometrie	33
4.3 Methodik der Ergometrie und Geräte	35
4.4 Normotone Ruhe- und Belastungswerte im Kindes- und Jugendalter	37
5. <u>Eigene Untersuchungen</u>	43
5.1 <u>Krankengut und Methodik</u>	43
5.1.1 Patienten und Probanden	43
5.1.2 Ergometrie	47
5.1.3 Statistik	51
5.2 <u>Ergebnisse</u>	52
5.2.1 Erreichte Wattstufen/Herzfrequenzverhalten unter Belastung	52
5.2.2 Korrelation invasiv gemessener arterieller Drucke mit nichtinvasiv gemessenen Blutdruckwerten in Ruhe und unter Ergometrie	56
5.2.3 Reproduzierbarkeit der RR-Messungen unter Ergometrie	60

	Seite
5.2.4 Blutdruckverhalten während Ergometrie	62
5.2.5 Belastungspositives und belastungsnegatives Blutdruckverhalten	75
5.2.6 Systolischer Blutdruckgradient zwischen oberer und unterer Körperhälfte	78
5.2.7 Blutdruckdifferenzen zwischen linkem und rechtem Arm	81
5.2.8 Blutdruckverhalten unter medikamentöser Behandlung	83
6. <u>Diskussion</u>	85
6.1 Wertigkeit der indirekten und direkten Blutdruckmessung unter Ruhebedingungen und während Ergometrie	85
6.2 Bewertung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch eine fahrradergometrische Belastungs- untersuchung	88
6.3 Sicherung der Diagnose eines arteriellen Hypertonus und Beurteilung seines Schwerdegrades	91
6.4 Differentialdiagnose: essentielle Hypertonie/ sekundäre Hypertonie mit Hilfe der Ergometrie	93
6.5 Operationsindikation bei Patienten mit Aortenisthmusstenose	97
6.6 Systolischer Druckgradient zwischen oberer und unterer Körperhälfte unter Ergometrie	98
6.7 Beurteilung der Operationsergebnisse	101
6.8 Therapiekontrolle unter Ergometrie	104
7. <u>Zusammenfassung</u>	107
8. <u>Literatur</u>	110
9. <u>Lebenslauf</u>	127

1. Einleitung/Problemstellung

Epidemiologischen Studien zufolge leiden zur Zeit ca. 15 - 20 % der erwachsenen Bevölkerung in den USA an einer arteriellen Hypertonie (BOCK 1967, BRIEDIGKEIT et al. 1979, SIEGENTHALER u. KUHLMANN 1984, MANGER und PAGE 1984). Dabei zeichnet sich eine zunehmende Tendenz ab (MATTHES et al. 1978; BRIEDIGKEIT et al. 1979). Diese arterielle Hypertonie ist als einer der Hauptrisikofaktoren der kardiovaskulären Erkrankungen verantwortlich für eine Reihe weiterer Folgeerkrankungen, die nicht oder nur sehr schwierig zu behandeln sind. Zu nennen sind hier vor allem die Arteriosklerose, die Herzinsuffizienz, die Apoplexie und der Herzinfarkt. Nach deutschen Statistiken sterben nahezu 40 % aller Menschen unter 65 Jahren an den Folgen einer Hypertonie, mehr als an Krebsleiden und Tuberkulose zusammen (JAHNECKE 1974).

Mangelhafte Aufklärung im Hinblick auf einen arteriellen Hypertonus und ein fehlendes Krankheitsbewußtsein der Patienten sind in der Bundesrepublik Deutschland noch weit verbreitet. Die unterschiedlichen Meßmethoden und verschieden angewendete Kriterien zur Behandlungsindikation und der Kontrolle bedingen darüber hinaus eine sehr lückenhafte therapeutische Betreuung. So sind nach BRIEDIGKEIT (1979) bzw. nach HOLZGREVE (1973, 1978) 40 - 50 % der Hypertoniker überhaupt nicht erfaßt; von den bekannten Hochdruckkranken werden nur ca. 50 % behandelt und hiervon wiederum nur 50 % adäquat. Da aber eine antihypertensive Therapie zumindest bei manifester Hypertonie eine Lebensverlängerung bewirkt bzw. das Risiko von Komplikationen mindert (FAULHABER 1977), ist es eine absolute Verpflichtung für den Arzt, alles nur Mögliche zu tun, um diese Gefahren der Hypertonie möglichst frühzeitig aufzudecken und optimal zu behandeln.

Im Kindesalter wurde eine arterielle Hypertonie bis vor einigen Jahren entweder gar nicht erkannt oder oft als Aufregungshochdruck abgetan. Diese Einstellung wurde vor allem dadurch gefördert, daß es zum einen keine gesicherten altersabhängigen Normwerte für das Kindesalter gab, zum anderen die Möglichkeiten der Differentialdiagnose bei Säuglingen und Kindern und auch die Therapiemöglichkeiten sehr eingeschränkt waren (KALLFELZ und OFFNER 1980). In den letzten Jahren hat sich dies jedoch positiv verändert, so daß heute der Prävention der Hypertonie im Kindes- und Jugendalter - besonders im Hinblick auf die zahlreichen Folgeerkrankungen im späteren Leben dieser Patienten - eine größere Bedeutung beigemessen wird (LAUER und SHEKELLE 1980). Denn bereits im Kindes- und Jugendalter wird die Häufigkeit der arteriellen Hypertonie mit 1,4 - 12 % angegeben (SCHUMACHER et al. 1984), wobei diese entscheidend abhängig ist vom Altersbereich der erfaßten Patienten und von der Definition der Hypertonie für das Kindesalter (Tab. 1). So untersuchten SAUR et al. (1974) Kinder im Alter von 9 - 18 Jahren und benützten als Kriterien für das Vorliegen einer Hypertonie einen systolischen Wert von 140 mm Hg und einen diastolischen Wert von 90 mm Hg. Danach waren bis zu einem Alter von 14 Jahren 2 % der Kinder hyperten, ab dem 15. Lebensjahr 5 %. Nach BACHMANN (1983) wurden - wiederum unter Annahme von Erwachsenen-Grenzwerten - bei einem Altersbereich von 4 - 18 Jahren bei einer Erstuntersuchung in 3,4 %, nach mehreren Kontrolluntersuchungen dann in 1 - 2 %, eine arterielle Hypertonie nachgewiesen.

Unter Berücksichtigung altersabhängiger Normwerte bzw. deren oberen Grenzwerte, beispielsweise der 95er Perzentile nach den Empfehlungen der "Task force on blood pressure control in children" (BLUMENTHAL et al. 1977)

muß die Rate einer labilen arteriellen Hypertonie allerdings sehr viel höher angesetzt werden. So ließ sich nach LONDE (1966) bei einer ersten Untersuchung und bei Anwendung altersabhängiger Grenzwerte bei 12,4 % der Jungen und 11,6 % der Mädchen ein Hochdruck nachweisen. RAMES et al. (1978) fanden unter 6 622 Probanden mit einem Altersbereich zwischen 5 und 18 Jahren bei der Erstuntersuchung in 13,4 % und nach mehrfachen Wiederholungsuntersuchungen nur noch in 0,6 % einen arteriellen Hypertonus. Ähnlich lagen die Untersuchungsergebnisse von FIXLER et al. (1978) unter etwa 10 000 Probanden in einem Altersbereich zwischen 14 und 16 Jahren.

Autoren bzw. Arbeitsgruppe		Zahl der Probanden	Alter (Jahre)	Hypertonie- definition ($\leq$ mmHg)	Hypertonie- Häufigkeit Erst- unters.	(in %) Nach- unters.
LONDE	(1966)	1 805	4-15	95.Pc.	12,4/11,6	2,3
HEYDEN	(1969)	435	15-25	140/90	11,0	4,1
KILCOYNE	(1974)	3 537	14-19	140/90	5,5/7,8	1,2/2,4
SAUR	(1974)		9-18	140/90	2,0-5,0	
REICHMANN	(1975)	1 863	12-20	140/90	5,9	2,5
BACHMANN	(1977)	1 471	4-18	140/90	3,4	1,2
RAMES	(1978)	6 622	5-18	95.Pc.o.140/90	13,4	0,6
FIXLER	(1978)	10 641	14-16	95.Pc.o.	8,9	1,6
Task Force						

Tab. 1: Häufigkeit einer arteriellen Hypertonie in Abhängigkeit von den Hypertonie-Kriterien, dem Altersbereich der Probanden sowie einer Erst- oder Wiederholungsuntersuchung

Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß bei der Fahndung nach einer arteriellen Hypertonie in einem Altersbereich ab dem 5. - 6. Lebensjahr und unter Berücksichtigung altersabhängiger oberer Grenzwerte bei einer einmaligen Untersuchung bzw. bei der Erstuntersuchung überwiegend Patienten mit labiler Hypertonie oder aber mit einem situationsbedingt erhöhten Blutdruck erfaßt werden, deren Blutdruckwerte dann bei den Wiederholungsuntersuchungen häufiger in einem altersentsprechend normalen Bereich liegen.

Durch Blutdruckmessungen in Ruhe ist es damit, vor allem in diesem Altersbereich, nicht möglich, die wirklich Hypertonie-gefährdeten labilen Hypertoniker von den "Aufregungs-Hypertonikern" zu trennen. Unter fahrradergometrischer Belastung treten dagegen diese physiologischen Schwankungen des Ruheblutdrucks nicht auf, so daß durch diese Untersuchungsmethode eine Trennung zwischen blutdrucklabilen Normotonikern, sogenannten Grenzwerthypertonikern und stabilen Hypertonikern durch Erfassung des Belastungsblutdrucks erfolgen kann (BRIEDIGKEIT und TITTMANN 1982, FRANZ und LOHMANN 1982). Der unter Ergometrie registrierte Blutdruck ist wesentlich aussagekräftiger als jeder in Ruhe gemessene Blutdruck, zumal die Ruhe-Blutdruckmessungen auch keine Rückschlüsse auf das Blutdruckverhalten unter alltäglichen Belastungssituationen und keine Aussage über den weiteren Krankheitsverlauf und damit über die Prognose der Patienten erlauben (FRANZ und LOHMANN 1982). Die Untersuchungen von FRANZ (1979) machen deutlich, daß 57,7 % der Patienten, die unter Ruhebedingungen einen grenzwertigen Blutdruck zeigten, nach ergometrischer Belastung als "Belastungspositive" identifiziert wurden; die übrigen 42,3 % der Patienten mit einem ebenfalls grenzwertigen Ruheblutdruckverhalten konnten nach Belastung als "Belastungsnegative" eingestuft werden, da

sich ihr Blutdruckverhalten unter Belastung nicht signifikant von einem Normalkollektiv unterschied. Auch die knapp 4 Jahre später durchgeführten Kontrolluntersuchungen (FRANZ und LOHMANN 1982) ergaben, daß 97 % der als belastungspositiv eingestuften Patienten tatsächlich einen Hypertonus entwickelten, während 68 % der belastungsnegativen Patienten weiterhin normale Blutdruckwerte unter Belastung aufwiesen. Somit war Jahre vor der endgültigen Manifestierung einer Hypertonie bereits die richtige Diagnose gestellt. Damit können durch eine fahrradergometrische Belastungsuntersuchung mit Blutdruckmessung Hypertonie-gefährdete labile Grenzwerthypertoniker frühzeitig erfaßt werden. Sie erlaubt darüber hinaus eine Aussage über den Schweregrad des Belastungshypertonus und könnte damit ein brauchbares Kriterium sein zur Klärung der Indikation zur medikamentösen oder operativen Therapie einer arteriellen Hypertonie, also entweder zur Verordnung und gleichzeitigen optimalen Einstellung und Überwachung einer antihypertensiven Therapie bei primärer essentieller Hypertonie bzw. einer operativen Beseitigung einer Aortenisthmusstenose bei Patienten mit dieser sekundären Form einer arteriellen Hypertonie.

Nach WILSON et al. (1979) ist das Risiko der Entwicklung einer essentiellen Hypertonie bei Personen mit normalem Ruhe-, jedoch überhöhtem Belastungs-Blutdruck um mehr als das Doppelte höher als bei unauffälligem Blutdruckverhalten unter Belastung. Damit sind die Belastungshypertensiven innerhalb der Patienten mit labilen Blutdruckerhöhungen in Ruhe zu der Gruppe der Hypertonie-gefährdeten zu rechnen (JULIUS et al. 1971, JULIUS und SCHORK 1971, WIDIMSKY und JANDOVA 1976, 1977, BRIEDIGKEIT et al. 1979, WILSON et al. 1979, JUST und STRAUER 1980, FRANZ 1981, WILSON und MEYER 1981).

Auch im Kindes- und Jugendalter ist offensichtlich eine Trennung zwischen "belastungspositiven" und "belastungs-negativen" Grenzwerthypertonikern möglich. So konnten BRIEDIGKEIT et al. 1979 bzw. BRIEDIGKEIT und TITTMANN 1982 zeigen, daß Kinder und Jugendliche zwischen ihrem 9. und 17. Lebensjahr mit systolischer Grenzwerthypertonie unter ergometrischer Belastung zwei deutlich voneinander unterscheidbare Blutdruckverlaufskurven aufweisen (Abb. 1 und 2). Wie bei den bereits erwähnten Erwachsenen entwickeln auch etwa die Hälfte der kindlichen und jugendlichen Grenzwerthypertoniker unter Belastung Blutdruckwerte, die sich nicht signifikant von denen normotoner Altersgenossen unterscheiden. Hierbei kommt es nach einem Abfall der systolischen und diastolischen Mittelwerte während der 1. Belastungsstufe zu einem kontinuierlichen, der Belastungssteigerung entsprechendem normotensivem Anstieg der systolischen Werte und gleichzeitig zu einer bereits bei den Kontrollpersonen beschriebenen, geringen gegenläufigen Bewegung des diastolischen Blutdrucks. Die andere Hälfte der belastungshypertensiven Kinder und Jugendlichen liegt mit ansteigender Belastung hochsignifikant über ihrer systolischen Normwertgrenze. Die diastolischen Werte fielen bei zunehmender Belastung stetig ab, haben demnach ein den übrigen Gruppen adäquates Verhalten.

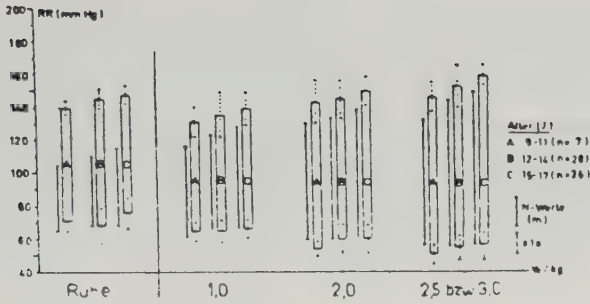


Abb. 1: Mittelwerte des Ruheblutdruckes sowie des maximalen systolischen und diastolischen Druckes bei "belastungsnormotensiver" Grenzwerthypertonie unter Ergometerarbeit (n = 61) nach BRIEDIGKEIT et al. 1979

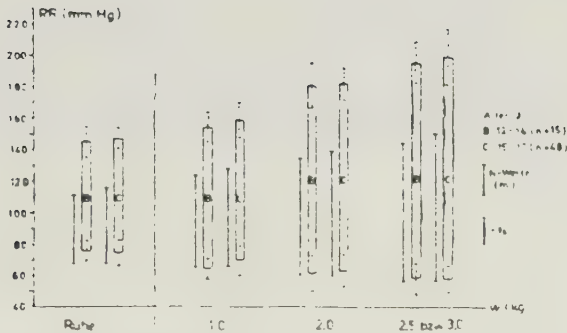


Abb. 2 Mittelwerte des Ruheblutdruckes sowie des maximalen systolischen und diastolischen Druckes bei "belastungshypertensiver" Grenzwerthypertonie unter Ergometerarbeit (n = 63) nach BRIEDIGKEIT et al. 1979

Bisher liegen nur für das Erwachsenenalter ausreichende Erfahrungen vor über das Blutdruckverhalten unter Ergometrie bei herzgesunden Erwachsenen (AL-ESHAIKER und MELLEROWICZ 1967, HOLLMANN et al. 1970, KRÖNIG 1976, ROST et al. 1976, FRANZ 1979) sowie bei Patienten mit verschiedenen Stadien der essentiellen Hypertonie (JULIUS et al. 1971, FRANZ 1979, 1981, ZERZAWY 1981, FRANZ und LOHMANN 1982) und für das Kindesalter bei gesunden Schulkindern unterschiedlicher Altersstufen (KÖNIG et al. 1961, RUTENFRANZ et al. 1961, BRIEDIGKEIT und TITTMANN 1979, 1982). Dagegen fehlen - bis auf die Ergebnisse von BRIEDIGKEIT und TITTMANN (1979) - weitgehend Erfahrungen über das Blutdruckverhalten unter Belastung bei Kindern und jugendlichen Patienten mit labiler und stabiler essentieller Hypertonie als auch bei Patienten mit einer Aortenisthmusstenose präoperativ als auch postoperativ, insbesondere aber vergleichende Untersuchungen dieser Patientengruppen unter identischen Untersuchungsbedingungen und im Vergleich mit herzgesunden Probanden.

Es sollte daher bei einem umfangreicheren Patientengut unter standardisierten Untersuchungsbedingungen das Blutdruckverhalten unter fahrradergometrischer Belastung geprüft werden.

Im einzelnen waren dabei folgende Fragestellungen zu beantworten:

1. Wie zuverlässig sind nicht-invasiv gemessene systolische und diastolische Blutdruckwerte in Ruhe und während Ergometrie?

2. Ist eine Bewertung der körperlichen Leistungsfähigkeit anhand einer fahrradergometrischen Belastungsuntersuchung möglich?
3. Kann durch eine fahrradergometrische Belastung mit Blutdruckmessung der Verdacht auf einen arteriellen Hypertonus im Kindes- und Jugendalter bestätigt oder aber ausgeschlossen werden?
4. Besteht ein Unterschied im Blutdruckverhalten unter Ergometrie bei Patienten mit primärer und sekundärer Hypertonie und ist damit eine differential-diagnostische Abklärung dieser verschiedenen Formen des arteriellen Hypertonus unter fahrradergometrischer Belastung möglich?
5. Kann eine Operationsindikation bei Patienten mit einer Aortenisthmusstenose mit Hilfe einer fahrradergometrischen Belastung gestellt werden, insbesondere bei nicht sehr ausgeprägten Formen und grenzwertigem Blutdruck in Ruhe?
6. Ist ein ansteigender Blutdruckgradient zwischen der oberen und unteren Körperhälfte unter fahrradergometrischer Belastung ein brauchbares Kriterium zur Operationsindikation bei Patienten mit Aortenisthmusstenose präoperativ bzw. postoperativ bei Verdacht auf Re-Stenose?
7. Inwieweit kann durch eine Ergometrie die Beurteilung der Operationsergebnisse nach operativer Beseitigung einer Aortenisthmusstenose erleichtert werden?
8. Kann mit Hilfe der Ergometrie eine medikamentöse antihypertensive Therapie bei Hochdruckpatienten besser eingestellt und überwacht werden?

2. Geschichte der Blutdruckmessung

Im Jahre 1628 entdeckte William HARVEY den Blutkreislauf und die Funktion des Herzens als Muskelpumpe. Es dauerte dann aber noch ein Jahrhundert, bis der englische Landpfarrer Stephen HALES, am 7. September 1677 in Beckesbourne in Kent geboren und seit 1696 Mitglied der Universität von Cambridge, in seinem Werk "Statical Essays, Containing Haemastatics" (1733) erstmals über seine Versuche einer Blutdruckmessung an einer Stute berichtete (Abb. 3).

Dieses Werk muß die Wissenschaftler seiner Zeit sehr fasziniert haben und obgleich seine Methode noch sehr unvollkommen war, wurden ihm zahlreiche Ehrungen zuteil.

Johannes MÜLLER, einer der größten Physiologen des 19. Jahrhunderts vertrat sogar die Ansicht, daß die Entdeckung des Blutdruckes noch höher einzustufen sei als die Entdeckung der Blutflüssigkeit selbst (BOOTH 1977).



Abb. 3: Stephan Hales mit einem Assistenten
während einer direkten Blutdruck-
messung an einem Pferd

aus: Fishman und Dickinson (1964)

Etwa ein weiteres Jahrhundert später erregte ein Franzose namens POISEUILLE großes Aufsehen. Er wurde 1799 geboren und approbierte 1828 in Paris. Für seine Doktorarbeit "Über den Nutzen eines Quecksilbermanometers für die Messung des Blutdruckes" wurde er noch im selben Jahr von der "Royal Academy of Medicine" ausgezeichnet.

Carl LUDWIG, Professor an der vergleichenden Anatomie in Marburg, nahm die Erfindung von POISEUILLE auf, um 1847 einen Kymographen (Pulsschreiber) zu entwickeln. Mit diesem Gerät konnten erstmals klinische Pulsdaten schriftlich registriert werden.

Der erste Blutdruckschreiber wurde 1855 von VIERORDT erfunden. Mit seinem Sphygmomanometer war es erstmals möglich, den Blutdruck indirekt, d.h. unblutig zu bestimmen. VIERORDT ging dabei von der Vorstellung aus, daß man den Blutdruck indirekt messen könne, indem man den Gegendruck mißt, der notwendig ist, um die Pulsationen einer Arterie zum Stillstand zu bringen. Er setzte diese Theorie in die Praxis um, indem er ein Gerät konstruierte, das durch Gewichtsauflegungen auf einen Sphygmographen die A. radialis obliterierte (Abb. 4). Da sein Apparat aber sehr unhandlich war, hatte er damit nicht sehr viel Erfolg.

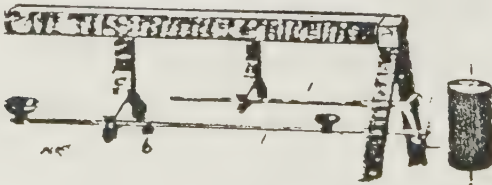


Abb. 4: Vierordt's Blutdruckmeßapparat von 1854.
Das Polster b wird über der Radialarterie aufgesetzt.
Gewichte beschweren den größeren Meßbecher, bis die
Pulswelle aufgespürt ist; anschließend dient der kleinere
Meßbecher als feinere Justierwaage mit geringeren Gewichten.
aus: BOOTH 1977

Bereits fünf Jahre später, also 1860, verbesserte MAREY die Erfindung VIERORDT's, indem er den zu untersuchenden Arm mit einer mit Wasser gefüllten Kammer umgab. Diese war mit einem Kymographen und einem Sphygmographen verbunden und registrierte so die Pulsationen. Aber auch dieses Gerät erwies sich in der Praxis als zu sperrig und zu unhandlich (Abb. 5).



Abb. 5: Direkter Blutdruckmeßapparat von Marey,
um 1881
aus: B00TH 1977

Im Jahre 1856 führte der französische Chirurg FAIVRE die erste direkte Blutdruckmessung an einem Menschen durch. Er stellte während einer Operation eine Verbindung zwischen einer Femoral- bzw. Brachialarterie und einem Quecksilbermanometer her. Doch auch diese Methode war für Routinebestimmungen offensichtlich ungeeignet.

Samuel Siegfried Karl Ritter von BASCH, geboren 1837 in Prag und 1862 in Wien promoviert, erfand im selben Jahr wie MAREY, also um 1881 ein Sphygmomanometer zur indirekten

Blutdruckmessung mit Registriereinrichtung. Sein Apparat zeichnete sich durch einfache Handhabung und relativ genaue Ergebnisse aus (Abb. 6).

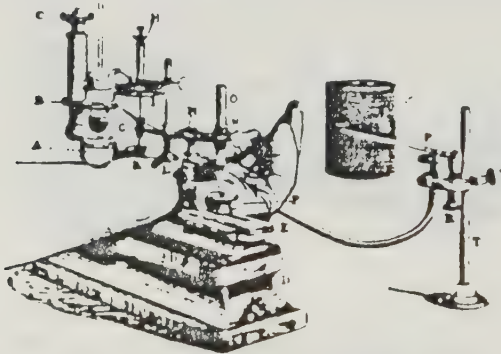


Abb. 6: Von Basch's Blutdruckmeßgerät mit Ständer, um 1881.
Eine Gummikappe (A) ruht auf der Radialarterie und der Arm wird zwischen den Punkten E und G "eingeklemmt". Ein weiches Polster (K) liegt auf der Arterie. Durch eine Schraube (H) kann die Trommel des Blutdruckmeßgerätes justiert werden. Eine Schreibnadel (P) steht mit der Trommel des Apparates über einen Gummischlauch in Verbindung. aus BOOTH 1977

Die Einführung der Sphygmomanometer wurde zum Ende des vorigen Jahrhunderts in der damaligen Ärzteschaft unterschiedlich aufgenommen. Während die Befürworter diesen Apparat als ein wertvolles Hilfsmittel zur Diagnosestellung betrachteten, warnten andere Ärzte davor, da dadurch "die Aufmerksamkeit und die Sinne der Ärzte abstumpfen" würden. Dennoch verbreitete sich die Blutdruckmessung im Anfang dieses Jahrhunderts sehr rasch in Europa und Amerika.

POTAIN verbesserte die Sphygmomanometer weiter, indem er 1889 die bis dahin übliche Wasserkompression durch eine Luftkompression ersetzte. Der Druck wurde mittels eines tragbaren Anaeroidmanometers gemessen.

Die heute noch gültige und allgemein gebräuchliche Methode der indirekten Blutdruckmessung geht auf einen Italiener namens RIVA-ROCCI zurück. Seine Untersuchungen wurden 1896 in zwei Zeitschriften publiziert, beide unter dem Titel: "Un nuovo sfigmomanometro". Darin beschreibt er den Zweck seiner Blutdruckuntersuchungen und den physikalischen Aufbau seines Apparates. Die Vorteile seiner Erfindung waren in der Einfachheit des Anlegens der Blutdruckmanschette, der schnellen Funktion, der Präzision und der Unschädlichkeit für den Patienten begründet. Eine der entscheidenden Neuerungen lag wohl in der von allen Seiten gleichmäßigen Kompression der Armaterie, welche im Gegensatz zu dem bisher üblichen einseitigen Druck nach der von BASCH's Methode stand. Der Druck dieser Oberarmmanschette wurde mit einem Quecksilbermanometer gemessen, welches solange aufgeblasen wurde, bis der Puls der peripher gelegenen Arterie nicht mehr palpabel war (Abb. 7).

Ein Fehler in RIVA-ROCCI's Methode, bei der mittels Palpation nur der systolische Blutdruck registriert werden konnte, lag in der Verwendung einer zu schmalen Manschette von nur 5 cm Breite. Diesen Fehler erkannte von RECKLINGHAUSEN 1901 und er wechselte die zu schmale Manschette gegen eine 12 cm breite Manschette aus.

Erst 1905 gelang es dem russischen Chirurgen KOROTKOV, 1874 geboren und 1898 in Moskau promoviert, neben dem systolischen auch den diastolischen Blutdruck zu messen.

Er berichtete, daß beim Ablassen des Luftdruckes aus einer Armmanschette bei gleichzeitigem Auflegen eines Stethoskopes auf eine Brachialarterie pochende Geräusche zu hören waren, die er mit demiedereinsetzenden Blutstrom erklärte. Die zunächst hörbaren bzw. wiederauftretenden Geräusche bei nachlassendem Manschettendruck deutete er als den systolischen Blutdruck, das Nachlassen bzw. Verschwinden der Geräusche nach weiterem Luftablassen als diastolischen Blutdruck.

RIVA-ROCCI und KOROTKOV leisteten mit ihren Entdeckungen der Medizin einen großen Beitrag zur Messung des systolischen und des diastolischen Blutdruckes. Obgleich sich in den letzten Jahren sehr viel, auch auf dem Gebiet der elektrischen Blutdruckmessung verändert hat, sind die Methoden dieser beiden Wissenschaftler auch heute noch, gegen Ende des 20. Jahrhunderts, von unschätzbarem Nutzen für Arzt und Patient.

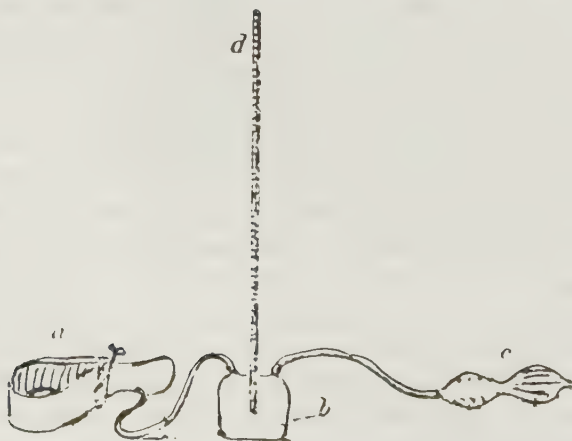


Abb. 7: Sphygmomanometer nach RIVA-ROCCI
aus: SAHLI 1909

3. Technik der Blutdruckmessung

3.1. Blutdruckmessung in Ruhe und unter Ergometrie

Auch heute noch ist die indirekte, unblutige Blutdruckmessung nach RIVA-ROCCI und KOROTKOV wegen ihrer Einfachheit die allgemein übliche Methode. Im Kindesalter werden aufgrund der unterschiedlichen Länge des Oberarmes und dessen Umfangs Manschetten verschiedener Breiten und Längen mit eingearbeiteten, aufblasbaren Gummibalgern verwendet, die mit Quecksilber- oder Anaeroidmanometern verbunden sind.

Die mittels Stethoskop auskultierbaren Geräusche können einzelnen Phasen der KOROTKOV-Töne zugeordnet werden (Tab. 2).

KOROTKOV-Töne		entspricht
Phase I	erstes Auftreten von deutlich klopfenden Tönen	systolischer RR bei Kindern und Erwachsenen
Phase II	Abschwächen der Töne, die einen rauschenden Charakter annehmen können	
Phase III	Wiederauftreten von deutlich rauheren Tönen, die jedoch die Lautstärke der Phase-I-Töne nicht erreichen	
Phase IV	Deutliches Leiserwerden der Töne ("muffling"), die einen weichen und gedämpften Charakter annehmen	diastolischer RR bei Kindern
Phase V	Vollständiges Verschwinden der akustischen Phänomene	diastolischer RR bei Erwachsenen

Tab. 2: KOROTKOV-Töne und Blutdruck-Definition
(nach PETERS und SCHUMACHER 1984)

Diese Kriterien gelten auch für die RR-Messung während Ergometrie, wobei der diastolische Wert im Kindesalter wiederum in der Phase IV registriert wird (ANSCHÜTZ 1970). Da auch bei dieser scheinbar so einfachen Apparatur dennoch sehr häufig systematische Fehler auftreten, wurde von der World Health Organisation (WHO) eine Empfehlung zur indirekten Messung des Blutdruckes herausgegeben. Ziel dieser Empfehlung ist es, eine möglichst international vergleichbare Meßtechnik zu entwickeln.

Die wichtigsten Kriterien sind:

1. Nur geeichte Manometer verwenden; Nacheichung spätestens alle 2 Jahre gesetzlich vorgeschrieben.
2. Bei Verwendung von Quecksilber-Manometern muß unbedingt auf eine senkrechte Stellung während der Messung geachtet werden.
3. Die Manschetten müssen aus unelastischem Material bestehen und so breit sein, daß sie mindestens 2/3 des Oberarmes (der Oberarmlänge) bedecken. Entsprechend werden für das Säuglings- und das Kindesalter folgende Gummimanschettenbreiten empfohlen:

Neugeborene	2,5 - 3,0 cm
1. Lebensjahr	4,0 - 5,0 cm
2. - 4. Lebensjahr	7,5 cm
5. - 6. Lebensjahr	10,0 cm
7. - 10. Lebensjahr	10,0 - 12,5 cm
11. - 14. Lebensjahr	12,5 - 15,0 cm
15. - 18. Lebensjahr	15,0 cm

Empfohlene Gummimanschettenbreite für das
Säuglings- und Kindesalter nach BRODHERR et al. 1982

4. Die luftleere Blutdruckmanschette soll ca. 3 cm oberhalb der Ellenbeuge fest, jedoch nicht zu fest angelegt werden.
5. Das Ellenbogengelenk soll leicht gebeugt und der Arm etwa in Herzhöhe gelagert sein, zum Beispiel auf einer Liege.
6. Der Manschettendruck sollte schnell bis auf ca. 30 mmHg oberhalb des allmählich verschwindenden Radialispulses aufgepumpt werden.
7. Bei der Auskultation ist das Stethoskop nur leicht über der Arteria brachialis in der Ellenbeuge aufzusetzen.
8. Der Manschettendruck ist nicht zu rasch abzulassen, maximal um 5 mmHg/sec.
9. Der systolische und diastolische Blutdruck ist - entsprechend der Ausstattung der Meßskala - bis auf 5 mmHg genau anzugeben. Ein Auf- oder Abrunden der Werte auf den nächst höheren beziehungsweise tieferen Zehnerwert sollte unterbleiben.
10. Nicht zu früh mit der Messung abbrechen, um eine auskultatorische Lücke nicht zu übersehen.
11. Eine Wiederholungsmessung sollte frühestens nach einer Minute bei vollkommen druckloser Manschette erfolgen.
12. Bei erstmaligen Messungen immer an beiden Armen den Blutdruck messen; bei größeren Seitendifferenzen des Druckes (≥ 15 mmHg) Messung wiederholen und zusätzlich den Blutdruck an einem Bein messen, um eine Aortenisthmusstenose auszuschließen.

Den systolischen Blutdruck am Bein bestimmt man entweder palpatorisch oder mittels eines Doppler-Gerätes über der Arteria dorsalis pedis oder der Arteria tibialis posterior. Bei diesem von KÖHLER u. LÖSSE 1979

bzw. GRÜNTZIG 1975 entwickelten Verfahren werden Schallwellen einer ganz bestimmten Frequenz von den korpuskulären Bestandteilen des Blutes reflektiert und damit Strömungsgeschwindigkeitsänderungen hörbar gemacht. Die Differenzen zwischen den ausgesandten und reflektierten Ultraschallwellen werden dabei registriert. Die Sonde mit eingebauten Sender und Empfänger wird bei der Untersuchung mit einem Kontaktgel eingeschmiert, um die Widerstände möglichst klein zu halten. Der große Vorteil dieser Methode besteht darin, auch minimale Pulsationen dem Untersucher hörbar zu machen, die weder mit einem Stethoskop noch mit der Palpation erfaßbar sind.

3.2. Fehlerquellen

Meist beruhen Blutdruckdifferenzen zwischen beiden Armen in Ruhe auf unterschiedlich breiten Manschetten oder aber auf Veränderungen in Bereiche des Aortenbogens (z.B. bei Aortenisthmusstenose) oder der großen Gefäße (STURM et al. 1970). Auch eine zu eng angelegte Manschette an einem Arm kann das Ergebnis verfälschen. Ein weiterer wichtiger Aspekt für unterschiedliche Blutdruckresultate an den Armen sind unterschiedlich dicke Oberarme (STURM et al. 1970; MAXWELL et al. 1982). Ein größerer Oberarmquerschnitt führt bei altersentsprechender Manschettengröße zu erhöhten Werten, ein kleinerer Querschnitt dementsprechend zu erniedrigten Werten. Schließlich sind Defekte an Geräten, Manschetten, Schläuchen und am Stethoskop auszuschließen (PETERS und SCHUMACHER 1984).

Unter ergometrischer Belastung muß auf das Phänomen der "auskultatorischen Lücke" geachtet werden (ANSCHÜTZ 1970). Sie ist ein Bereich unterhalb des systolischen Blutdrucks, in dem keine Geräusche auskultiert werden können. Gründe hierfür sind ein zu niedriger Anfangsdruck und ungenügende Aufmerksamkeit. Rasches Aufblasen der Manschette und gleichmäßiges Ablassen des Druckes sollen diesem Phänomen entgegenwirken (VETTER 1982).

Weiter kann unter körperlicher Belastung das sogenannte "Null- oder Durchlaufphänomen" auftreten, das heißt, der diastolische Blutdruck sinkt auf "0 mmHg" ab. Hervorgerufen wird dies durch eine Abnahme der Wandspannung und vor allem durch eine Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes, die wiederum mit zunehmender Leistungsherzfrequenz ansteigt (ANSCHÜTZ 1970).

Diese Befunde können die Messung vor allem des diastolischen Blutdruckes unter Ergometrie erschweren beziehungsweise unsicher werden lassen.

3.3. Normwerte des Blutdruckes für das Kindes- und Jugendalter in Ruhe

Einen exakten systolischen oder diastolischen Blutdruckwert, der die Grenze zwischen normalen und hypertonen Blutdruck im Kindes- und Jugendalter festlegt, gibt es nicht (BACHMANN 1983). Auch die von der WHO angegebenen oberen Grenzwerte des normalen Blutdruckes von systolisch 139 und diastolisch 89 mmHg sind nur für Erwachsene, nicht aber für Kinder geeignet. Vielmehr zeigen die Untersuchungen nach LONDE (1966, Abb. 8), daß der Blutdruck zunächst zwischen dem 2. und dem 6. Lebensjahr bei Jungen und Mädchen annähernd konstant bleibt, dann jedoch bis zum 13. Lebensjahr kontinuierlich ansteigt. Erst nach dem

13. Lebensjahr erreichen die Kinder in der 95er Perzentile die oben angegebenen Grenzwerte der WHO für das Erwachsenenalter.

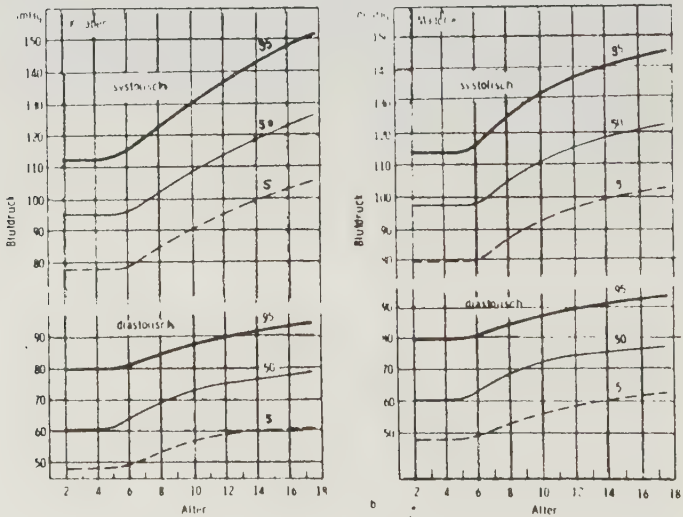


Abb. 8: Ausgewählte Perzentilen des systolischen Blutdruckes von Jungen und Mädchen (nach LONDE 1966)

Die von LONDE und in der "Report of the task force" veröffentlichten Perzentilenkurven (Abb. 9) können damit als Anhaltspunkte für die "Normalwerte" des Blutdruckes für Jungen und Mädchen der verschiedenen Altersgruppen angesehen werden. Da in den untersuchten Populationen sicherlich aber auch einige jugendliche Hypertoniker vertreten sein dürften, sind die labilen Hypertoniker oberhalb der 90er Perzentile zu vermuten.

Aus diesem Grunde ist es ratsam, Kinder und Jugendliche, deren Blutdruck bei einmaliger Messung oberhalb der 95. Perzentile oder bei wiederholten Messungen oberhalb der 90er Perzentile liegen, als "potentielle Hypertoniker" einzuordnen (LONDE 1966, BLUMENTHAL et al. 1977), auch wenn die Grenze zwischen normalen und hypertonen Blutdruckverhalten nicht streng mit der 95er Perzentile festgelegt werden kann. Vielmehr steigt das Risiko der hypertoniebedingten Folgeerkrankungen kontinuierlich mit dem Blutdruckniveau an (BACHMANN 1983).

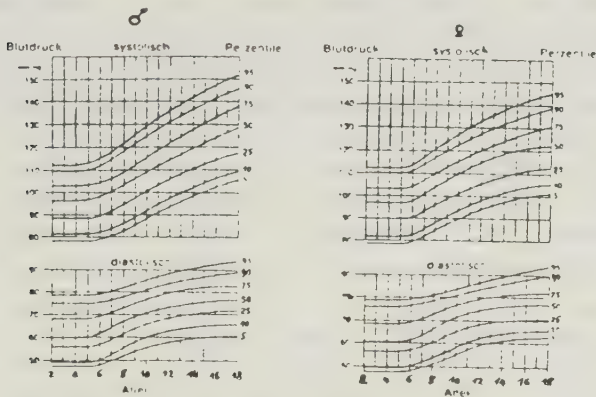


Abb. 9: Perzentilen für die Blutdruckmessung beim Jungen (links) und beim Mädchen (rechts) nach "Report of the task force on blood pressure control in children" (BLUMENTHAL et al. 1977)

4. Ergometrie

4.1 Allgemeine Untersuchungsbedingungen

Für die Durchführung einer fahrradergometrischen Untersuchung wurden folgende Standardisierungsvorschläge beim IV. Internationalen Seminar für Ergometrie 1981 von der Arbeitsgruppe für Ergometrie des International Council of Sports and Physical Education (ICSPE) der UNESCO gemacht:

1) Verwendung eines Standardergometers mit runder Schwungmasse von 100 kg, einem Trägheitsmoment von $5,55 \text{ kg} \times \text{m}^2$ bei gleicher Umdrehungszahl von Schwungmasse und Kurbel sowie einer Kurbellänge von 33,5 cm.

2) Die Drehzahlen sollten bei submaximaler Belastung bei 60 bis 100 U/min. liegen.

3) Bezüglich der Belastungsstufen gelten folgende Regelungen:

Bei allen erwachsenen Probanden bzw. Patienten sind mindestens drei Leistungsstufen anzuwenden, wobei die Gesamtdauer der Untersuchung zwischen 6 und 12 Minuten betragen soll. Je nach Untersuchungsgut und Untersuchungszweck können jedoch unterschiedliche Belastungsstufen nach Größe und Dauer gewählt werden. Zwischen den drei Belastungsstufen dürfen keine Pausen eingeschaltet werden, so daß die Erholungsphase erst nach der maximalen Belastung liegt.

4) Die Erhebung einer gründlichen Anamnese und eine klinische Untersuchung sind selbstverständliche Voraussetzungen einer Ergometrie, um mögliche Komplikationen vorzeitig zu erkennen beziehungsweise zu verhindern. Gleichfalls sollten ein Ruhe-EKG sowie der Ruhe-Blutdruck grundsätzlich vor jeder ergometrischen Untersuchung geschrieben bzw. gemessen werden.

5) Definierte Leistungsumsatzbedingungen müssen unbedingt eingehalten werden:

- a) bis 3 Stunden vor der Untersuchung ist ein kleines Frühstück erlaubt,
- b) größere physische und psychische Belastungen sind am Vortag bzw. auch kleinere am Untersuchungstag zu vermeiden, da sie die Leistungsumsatzbedingungen nachteilig verfälschen und zu Blutdrucksteigerungen führen können,
- c) der Proband muß vor der Belastung vom Ablauf der Untersuchung unterrichtet werden. Lärm, Unterhaltung und sonstige ablenkende Reize sind weitestgehend zu vermeiden,
- d) der Untersuchung sollte eine 5 bis 10-minütige Ruhephase - am besten im Liegen - vorausgehen,
- e) die Raumtemperatur sollte 18 - 22° C und die relative Luftfeuchtigkeit 30 - 60 % betragen. An heißen Tagen mit hoher Luftfeuchtigkeit sollten ergometrische Belastungsuntersuchungen möglichst nicht durchgeführt werden,
- f) zur Untersuchung sollte aus thermoregulatorischen Gründen eine kurze Hose getragen werden,
- g) mindestens 12-stündiger Abstand zum letzten Nikotin-, Kaffee-, Tee- und Alkoholgenuß sollte eingehalten werden. Selbstverständlich ist eine Medikamenteneinnahme - zum Beispiel Antihypertensivum - zuvor anamnestisch auszuschließen oder in der Bewertung zu berücksichtigen und im Untersuchungsprotokoll zu vermerken,
- h) bei Kontrolluntersuchungen sind möglichst immer die gleiche Tageszeit zu wählen, da die körperliche Leistungsfähigkeit und das Blutdruckverhalten tageszeitlichen Schwankungen unterliegen. Diese Feststellung trifft für Hypertoniker in besonderem Maße zu (KRÖNIG 1982).

4.2 Indikationen und Kontraindikationen der Ergometrie

Bei der Indikation zur Ergometrie mit RR-Messung sind folgende Fragestellungen von besonderem Interesse

(HALHUBER und HOFFMANN 1972; FRANZ und LOHMANN 1982):

- 1) Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems aufgrund des Blutdruck- und Pulsfrequenzverhaltens
- 2) Erkennung eines Belastungsblutdruckes
- 3) Verlaufkontrolle bei therapeutischen Maßnahmen, beispielsweise Feststellung der Wirksamkeit blutdrucksenkender Medikamente bei arterieller Hypertonie unter Ruhe- sowie Belastungsbedingungen
- 4) Trennung der Grenzwerthypertoniker in belastungspositive und in belastungsnegative Patienten.

Folgende Kontraindikationen sollten jedoch bei der ergometrischen Belastungsuntersuchung zur Vermeidung möglicher Komplikationen beachtet werden (HALHUBER und HOFFMANN 1972):

- 1) Schwere Ruhhypertonie
- 2) Akute Carditis sowie alle anderen fieberhaften Infekte
- 3) Beachtung der Abbruchkriterien, das heißt rechtzeitiges Stoppen der Belastung beim Auftreten von:
 - Angina pectoris, starker Dyspnoe
 - Schwindel, Kopfschmerzen
 - Erschöpfung, Cyanose, Blässe
 - gehäuft polytope oder ventrikuläre Extrasystolen, Kammerflimmern, Kammerflattern, sonstige Reizbildungs- oder Reizleitungsstörungen

- abnorme Blutdruckreaktionen
- übermäßiger Blutdruckanstieg (über 250 mmHg systolisch und/oder über 130 mmHg diastolisch)
- übermäßiger Herzfrequenzanstieg

4.3 Methodik der Ergometrie und Geräte

Die heute für eine ergometrische Belastungsprüfung zur Verfügung stehenden Geräte, die Kletterstufe (nach KALTENBACH (1974) und KLEPZIG (1981)), das Laufband- und das Fahrradergometer haben sich in unterschiedlicher Weise bewährt (Tab. 3).

	Vorteile	Nachteile
Kletterstufe	- gewohnte Belastungsform - exakte Leistungsmessung möglich - geringer finanzieller Aufwand - geringer Platzbedarf - keine Eichung erforderlich	- Messung von Blutdruck und Herzfrequenz bei Belastung nicht möglich - Verletzungsgefahr bei Sturz
Laufbandbelastung	- gewohnte Belastungsform - exakte Leistungsmessung - Blutdruckmessung nur bedingt möglich - kontinuierlich ansteigende Belastung einstellbar	- größerer finanzieller Aufwand - Sturzgefahr - größerer Platzbedarf - regelmäßige Eichung nötig
Fahrradergometer	- Leistung dosierbar und reproduzierbar - kontinuierlich ansteigende Belastung - Blutdruckmessung gut durchführbar	- Sturzgefahr (nur beim Ergometer im Sitzen) - regelmäßige Eichung notwendig

Tab. 3: Vor- und Nachteile von Kletterstufe, Laufband- und Fahrradergometer nach LÜLLGEN und SCHULTE (1983)

In der Praxis und vor allen Dingen in der Klinik hat sich das Fahrradergometer allgemein durchgesetzt. Die Untersuchung kann sowohl in sitzender als auch in liegender Position durchgeführt werden. Im Sitzen ist eine Ausbelastung eher möglich. Im Liegen sind dagegen die Blutdruckmessungen zuverlässiger und darüber hinaus besteht hierbei die Möglichkeit zusätzlicher simultaner Messungen, zum Beispiel invasiver Druckmessungen. Eine Verletzungsgefahr durch Sturz, wie sie beim Laufbandergometer oder dem sitzenden Fahrradergometer möglich ist, scheidet praktisch aus.

4.4 Normotone Ruhe- und Belastungswerte unter fahrrad-ergometrischer Belastung im Kindes- und Jugendalter

Erstmals von KÖNIG et al. (1961) wurden bei 271 gesunden Kindern und Jugendlichen männlichen Geschlechtes im Alter von 10 - 19 Jahren der Blutdruck unter fahrrad-ergometrischer Belastung gemessen. Bei der Auswertung wurde eine Unterteilung in 5 Altersgruppen zu je 2 Jahren vorgenommen. Alle Probanden wurden entsprechend ihrem Alter bestimmten Leistungssteigerungen pro Belastungsstufe von 25 beziehungsweise 50 Watt unterzogen, wobei jede Belastungsstufe über einen Zeitraum von jeweils 3 Minuten durchgeführt wurde.

Aus Abbildung 10 wird ersichtlich, daß die systolischen Ruhemittelwerte mit fortschreitendem Alter sich jeweils um ca. 5 mmHg pro Gruppe erhöhen. Unter zunehmender Belastung steigen die systolischen Blutdruckmittelwerte in allen Gruppen nahezu gleichförmig an, wobei die älteren Probanden erwartungsgemäß die höchsten Durchschnittswerte aufweisen.

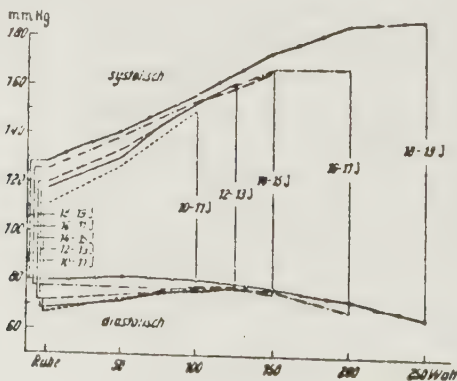


Abb. 10: Mittelwerte des systolischen und des diastolischen Blutdruckes bei den einzelnen Altersgruppen (10 - 19 Jahre) in Ruhe und während Belastung (steady state)
(nach KÖNIG et al. 1961)

Im diastolischen Bereich liegen die Mittelwerte unter Ruhebedingungen mit zunehmendem Alter ebenfalls etwas höher. Unter steigender Belastung erkennt man in den Gruppen der 10 - 11 und 12 - 13-jährigen einen leichten Anstieg der diastolischen Blutdruckmittelwerte bis zur maximalen Wattstufe in diesen Altersbereichen von 125 Watt. Bei den übrigen Gruppen zeigt sich oberhalb dieser Wattzahl wieder ein leichter Kurvenabfall, der in den Gruppen der 16 - 17 und 18 - 19-jährigen am deutlichsten ausgeprägt ist.

BRIEDIGKEIT und TITTMANN veröffentlichten 1979 bzw. 1982 belastungsabhängige Normwerte des systolischen und des diastolischen Blutdruckes im Kindesalter (Abb. 11, 12, 13 sowie Tab. 4, 5). Sie untersuchten 278 herzgesunde Jungen und Mädchen im Alter zwischen 11 und 17 Jahren mit je 3 Belastungsstufen von je 6 Minuten Dauer mit 1,0, 2,0 und 2,5 Watt/kg Körpergewicht für Untrainierte und mit 1,0, 2,0 und 3,0 Watt/kg Körpergewicht für Trainierte. Es zeigte sich, daß die systolischen Blutdruckmittelwerte bei gleicher Belastung kontinuierlich mit zunehmendem Alter ansteigen, während die diastolischen Blutdruckmittelwerte keine typische Altersabhängigkeit erkennen lassen.

Während die Höhe des systolischen Blutdruckes erwartungsgemäß in allen Altersstufen deutlich belastungsabhängig ist, fällt der diastolische Blutdruck in allen Altersstufen bei Jungen und Mädchen mit steigender Belastung leicht ab oder er behält seinen Ruhe-Ausgangswert mehr oder weniger konstant bei.

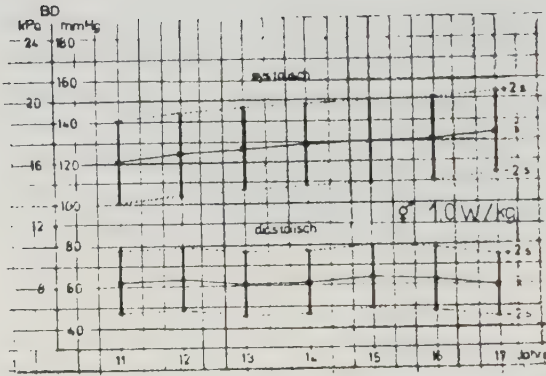


Abb. 11: Mittelwerte ($\bar{x}$) und doppelte Standardabweichung ($\pm 2s$) des systolischen und des diastolischen Blutdruckes bei ergometrischer Belastung mit 1 W/kg KG (Jungen und Mädchen, 11 - 17 a) (nach BRIEDIGKEIT und TITTMANN 1982)

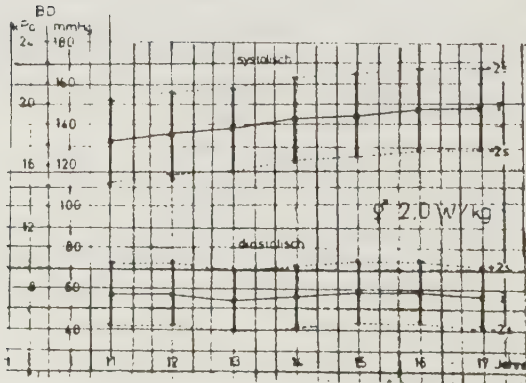


Abb. 12: Mittelwerte ($\bar{x}$) und doppelte Standardabweichung ($\pm 2s$) des systolischen und des diastolischen Blutdruckes bei ergometrischer Belastung mit 2 W/kg KG (Jungen und Mädchen, 11 - 17 a) (nach BRIEDIGKEIT und TITTMANN 1982)

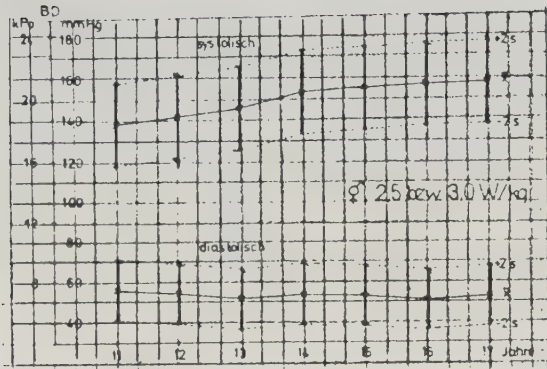


Abb. 13: Mittelwerte ($\bar{x}$) und doppelte Standardabweichung ($+2s$) des systolischen und des diastolischen Blutdruckes bei ergometrischer Belastung mit 2,5/3 W/kg KG (Jungen und Mädchen, 11 - 17 a) (nach BRIEDIGKEIT und TITTMANN 1982)

Alter (Jahre)	Geschlecht	n	Ruhe				Belastung							
			im Liegen		im Sitzen		1,0 W/kg		2,0 W/kg		2,5 bzw. 3,0 W/kg			
			x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s
11	m	18	111,3	8,8	108,0	10,4	118,3	10,1	131,7	12,0	138,5	11,4		
	w	19	113,9	9,5	111,7	6,8	122,7	8,3	132,2	7,6	139,0	8,4		
12	m	24	113,1	7,8	108,0	6,8	123,1	9,7	134,7	9,0	142,2	11,9		
	w	24	115,2	12,0	110,0	5,3	125,8	11,5	137,2	11,2	141,7	10,7		
13	m	23	113,1	12,3	108,3	11,3	126,4	8,8	138,4	11,0	147,2	12,0		
	w	20	111,1	10,4	106,9	5,9	126,1	9,8	137,8	12,5	144,8	12,1		
14	m	25	117,6	11,2	114,5	8,5	129,0	12,1	144,6	12,3	155,3	11,2		
	w	22	114,9	10,9	112,9	7,0	127,6	8,4	141,9	10,8	151,5	10,5		
15	m	23	120,9	7,3	116,4	8,5	131,8	9,5	146,7	11,8	156,6	9,6		
	w	25	116,3	11,4	115,0	6,1	127,8	9,0	143,5	10,7	153,8	11,2		
16	m	16	122,0	10,6	115,8	8,6	133,0	11,4	148,5	11,7	160,0	11,1		
	w	13	116,4	10,3	113,0	8,4	128,6	11,8	147,3	10,7	155,0	7,1		
17	m	14	127,5	9,1	118,3	7,9	134,8	8,5	149,8	8,5	160,9	8,9		
	w	12	117,4	8,7	111,1	8,7	132,3	8,9	147,6	9,2	155,8	9,7		

Tab. 4: Mittelwerte ($\bar{x}$) und einfache Standardabweichungen (s) des systolischen Blutdruckes (mmHg) in Ruhe (liegend, sitzend) und der maximalen ergometrischen Drücke in jeder Belastungsstufe (1,0, 2,0, 2,5 bzw. 3,0 W/kg) nach BRIEDIGKEIT und TITTMANN (1982)

Alter (Jahre)	Geschlecht	n	Ruhe				Belastung							
			im Liegen		im Sitzen		1,0 W/kg		2,0 W/kg		2,5 bzw. 3,0 W/kg			
			x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s
11	m	18	70,0	6,0	64,0	8,9	63,8	6,8	57,3	7,5	55,0	8,3		
	w	19	69,2	6,4	64,2	6,7	61,2	4,6	56,9	4,8	57,0	5,5		
12	m	24	67,2	7,2	63,0	4,5	63,1	7,9	56,5	8,4	52,1	6,9		
	w	24	68,3	8,4	70,0	9,7	64,4	9,8	58,6	8,1	55,7	8,0		
13	m	23	65,9	8,0	67,4	9,9	62,7	6,4	55,9	7,1	51,8	7,9		
	w	20	68,9	5,6	64,8	8,8	60,0	4,8	53,2	6,1	51,2	5,8		
14	m	25	71,6	9,4	68,1	5,3	60,5	7,4	55,0	9,4	51,1	6,4		
	w	22	72,1	7,5	63,6	6,3	62,8	11,5	57,8	8,7	56,2	8,4		
15	m	23	72,7	9,7	69,3	4,5	62,4	5,9	55,6	6,6	49,7	4,9		
	w	25	70,3	7,5	71,1	9,9	67,2	8,7	61,7	6,9	56,1	7,8		
16	m	16	74,0	7,8	68,5	8,8	64,0	6,6	55,5	9,3	51,5	8,8		
	w	13	74,3	8,4	72,0	8,4	62,1	5,7	61,4	7,2	50,3	7,6		
17	m	14	73,3	6,6	68,3	7,5	58,8	8,5	55,0	8,8	50,4	8,1		
	w	12	69,0	7,1	63,7	6,5	60,0	7,1	57,7	7,9	55,3	6,6		

Tab. 5: Mittelwerte ($\bar{x}$) und einfache Standardabweichungen (s) des diastolischen Blutdruckes (mmHg) in Ruhe (liegend, sitzend) und der maximalen diastolischen Drücke in jeder Belastungsstufe (1,0, 2,0, 2,5 bzw. 3,0 W/kg) nach BRIEDIGKEIT und TITTMANN (1982)

Faßt man die Ergebnisse der Untersuchungen von KÖNIG et al. (1961) und von BRIEDIGKEIT und TITTMANN (1982) zusammen, so lassen sich Richtwerte beziehungsweise obere Grenzwerte für den Ruheblutdruck und den submaximalen ergometrischen Belastungsblutdruck (2,5 - 3,0 W/kg KG) in der 3. Belastungsstufe angeben (Tab. 6).

Alter (Jahre)	m/w	systolischer RR (mmHg)		diastolischer RR (mmHg)	
		Ruhe	Erg. submax.	Ruhe	Erg. submax.
11	m	110	140-150	65-70	55-75
	w	115	140	70	55
13	m	115	145-150	65-70	50-75
	w	110	145	70	50
15	m	120	155-165	70	50-75
	w	115	155	70	55
17	m	125	160-165	75	50-70
	w	115	155	70	55

Tab. 6: Richtwerte des systolischen und des diastolischen Blutdruckes in Ruhe und unter submaximaler ergometrischer Belastung mit 2,5 - 3,0 Watt/kg Körpergewicht bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 11 - 17 Jahren
(in Anlehnung an Untersuchungen von KÖNIG et al. (1961) sowie BRIEDIGKEIT und TITTMANN (1982))

5. Eigene Untersuchungen

5.1 Krankengut und Methodik

5.1.1 Patienten und Probanden

Die fahrradergometrischen Belastungsuntersuchungen mit Blutdruckmessungen wurden bei insgesamt 87 Patienten vor und nach Operationen einer Aortenisthmusstenose, bei 32 Patienten mit essentieller Hypertonie und im Vergleich dazu bei 30 herzgesunden Probanden sowie 20 intensiv trainierenden jugendlichen Handballspielern durchgeführt (Tab. 7).

Alle Patienten mit Aortenisthmusstenose waren zum Zeitpunkt der Untersuchung kardial voll kompensiert. Bei allen Patienten nach Operation einer Aortenisthmusstenose (Gruppe 1.2. bis 1.5.) lag der operative Eingriff mindestens 3 Monate zurück und zwischenzeitlich waren keine weiteren operativen Eingriffe durchgeführt worden.

Um die Ergebnisse differenzierend beurteilen zu können, wurden die Patienten mit isolierter Aortenisthmusstenose (CoA) nach klinischen Aspekten, d.h. unter Berücksichtigung ihres Hypertonus und ihrer hämodynamischen Befunde in 5 Gruppen eingeteilt.

Gruppe 1.1 = Patienten mit CoA präoperativ

Gruppe 1.2 = Patienten nach CoA-Operation ohne Re-CoA
und ohne persistierender arterieller
Hypertonie [N]

Gruppe 1.3 = Patienten nach CoA-Operation mit Re-CoA
und mit persistierender Hypertonie [R+H]

- Gruppe 1.4 = Patienten nach CoA-Operation mit persistierender Hypertonie, aber ohne nachweisbare Re-CoA in Ruhe [H Ø R]
- Gruppe 1.5 = Patienten nach CoA-Operation, deren postoperativ persistierende Hypertonie mit oder ohne Re-CoA während des Zeitraumes der Ergometrie mit Antihypertonika behandelt wurde

Die Patienten der Gruppe 1.5 wurde separat zusammengefaßt, da durch eine antihypertensive Therapie eine Beeinflussung des Ruhe- und Belastungsblutdrucks anzunehmen war (JOHNSSON et al. 1969, DUFEY et al. 1975, FRANZ und LOHMANN 1978, FRANZ 1980, 1982).

Die Untersuchungsergebnisse dieser Patientengruppen wurden mit denen folgender Gruppen verglichen:

- Gruppe 2 = Gesunde Probanden = Normotoniker als Kontrollgruppe
- Gruppe 3.1 = Patienten mit Ruhe- und Belastungshypertonie, also stabile, essentielle Hypertoniker nach Ausschluß einer sekundären Hypertonie
- Gruppe 3.2 = Patienten mit Verdacht auf Hypertonie beziehungsweise mit gelegentlich über die 90er Perzentile des altersentsprechenden normalen Blutdruckes erhöht gemessenen Blutdruckwerten = labile essentielle Hypertoniker
- Gruppe 4 = Jugendliche Handballspieler, die regelmäßig zweimal wöchentlich zwei Stunden trainieren und wettkampfmäßig ihren Sport betreiben. Sie kamen in unsere Ambulanz im Rahmen einer sportärztlichen Belastungsuntersuchung

Untersuchungsgruppe	n	♂		♀		Mittleres Alter		Altersbereich
		mo	a	mo	a	mo	a	
Gr. 1.1 = CoA präop.	25	17	8	145	12	1/12		6-17
Gr. 1.2 = CoA postop.-N	24	14	10	166	13	10/12		8-21
Gr. 1.3 = CoA postop.-R+H	13	12	1	151	12	7/12		8-20
Gr. 1.4 = CoA postop.-HØR	15	11	4	190	15	10/12		9-21
Gr. 1.5 = CoA postop. R+H HØR+Th.	10	6	4	184	15	4/12		9-22
Gr. 2 = Probanden	30	17	13	146	12	2/12		8-17
Gr. 3.1 = Stab. essent.Hyp.	22	21	1	198	16	6/12		13-20
Gr. 3.2 = Lab. essent.Hyp.	10	6	4	177	14	9/12		10-17
Gr. 4 = Handballspieler	20	20	0	172	14	4/12		11-19
Σ =	169	124	45	169	14	1/12		6-22

Tab. 7: Übersicht über die 169 untersuchten Kinder und Jugendlichen. "n" = Gesamtzahl der Probanden bzw. Patienten in den einzelnen Untersuchungsgruppen und Aufschlüsselung nach Jungen ♂ und Mädchen ♀.
Mittleres Alter in Monaten (mo) bzw. Jahren (a) und Altersbereich in Jahren.

Untersuchungsgruppe

Alters- klasse (Jahre)	1.1		1.2		1.3		1.4		1.5		2		3.1		3.2		4				
♂=männl. ♀=weibl.	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	Σ ♂	Σ ♀	Σ ♂+♀
6 - 9	6	1	1	2	3	/	/	1	/	1	6	3	/	/	/	/	/	/	16	8	24
10 - 11	1	/	2	2	2	1	1	1	/	/	2	2	/	/	1	/	6	/	15	6	21
12 - 13	4	3	3	3	3	/	/	/	2	/	6	3	1	/	2	1	5	/	26	10	36
14 - 15	4	4	3	/	2	/	1	1	1	3	2	4	8	/	/	1	/	/	21	13	34
16 - 17	2	/	2	2	1	/	5	1	1	/	1	1	6	1	3	2	7	/	29	7	36
18 - 22	/	/	2	1	1	/	4	/	2	/	/	/	6	/	/	/	2	/	17	1	18
Σ ♂; Σ ♀	17	8	14	10	12	11	4	6	4	17	13	21	1	6	4	20	/	124	45	169	
Σ ♂+♀	25		24		13		15		10		30		22		10		20		169		

Tab. 8: Probanden- und Patientengut, dargestellt nach Alters-
klassen, Geschlecht (♂, ♀) und Gruppenzugehörigkeit.

5.1.2 Ergometrie

Bei allen Patienten und Probanden wurde die fahrradergo-
metrische Belastung im Liegen durchgeführt, da dies für
unsere Untersuchungen, vor allem für gleichzeitige Blut-
druckmessungen an Armen und Beinen und für simultane in-
vasive Druckmessungen sowie schließlich für die EKG-Auf-
zeichnungen günstigere Voraussetzungen bietet (LÖLLGEN
und SCHULTE 1983).

Technische Daten des Fahrradergometers:

Typ Ergometer 880, Firma Siemens, Erlangen

Arbeitsbelastung: 20 bis 500 Watt stufenlos einstellbar

Genauigkeit: Abweichung von der voreingestellten
Arbeitsbelastung kleiner als $\pm 2\%$ im
Bereich über 80 W und kleiner als
 $\pm 1,6$ W im Bereich unter 80 W

Tretgeschwindigkeit
für konstante

Leistung: zwischen 25 und 120 U/min für 20 bis 50 W
zwischen 40 und 120 U/min für 20 bis 250 W
zwischen 60 und 120 U/min für 20 bis 500 W

Drehmoment: 0,02 kpm/W

Gewicht: Treteinheit 50 kg
Regulatoreinheit 1,1 kg

Die von uns vorbestimmte Umdrehungszahl von 60 U/min konnte
kontinuierlich vom Untersuchungspersonal und vom Patienten
auf einem Anzeigegerät kontrolliert werden. Eine elektrische
Bremsung in Stufen bis zu minimal 10 Watt war möglich. Die
Blutdruckmessung erfolgte bei jedem Patienten an beiden
Armen mit einer altersgerechten, das heißt ausreichend

großen Blutdruckmanschette. Bei Patienten mit Verdacht auf Hypertonus oder CoA sowie CoA postoperativ und bei den gesunden Probanden und Handballern wurden auch an einem Unterschenkel eine Manschette angelegt und der systolische RR mittels Doppler vor und direkt nach Ergometrie registriert. Eine der beiden Armmanschetten wurde auf die allgemein übliche Weise manuell aufgepumpt, während die zweite Armmanschette von einem "Exercise Monitor" aufgeblasen wurde, bei dem die Messungen des systolischen und des diastolischen Blutdruckes sowie der Herzfrequenz automatisch erfolgten. Die Herzfrequenz wurde bei unseren Untersuchungen einmal vom Exercise Monitor kontinuierlich angezeigt, darüber hinaus vom EKG-Streifen mittels eines EKG-Lineals während der einzelnen Belastungsstufen registriert.

Als Kriterium einer ausreichenden Belastung galt ein Herzfrequenzanstieg auf ≥ 170 Schlägen/Minute während einer Belastungsstufe. Dies bedeutete, daß die 3. Belastungsstufe mit maximal 3 Watt/kg Körpergewicht nur durchgeführt wurde, wenn in der 2. Belastungsstufe eine Herzfrequenz von 170 Schlägen/Minute nicht erreicht wurde. Bei Überschreiten der Herzfrequenz von 170 Schlägen/Minute während einer der drei Belastungsstufen wurde diese aus Sicherheitsgründen abgebrochen.

Entsprechend unseren vorhergehenden Anamneseerhebungen und einer eingehenden körperlichen Untersuchung der Probanden wählten wir individuell die Gesamtbelastung von 2 - 3 Watt/kg Körpergewicht, aufgeteilt in drei Belastungsstufen ohne Zwischenpause. Dieses Vorgehen ermöglichte es uns, die Probanden innerhalb von 3 x 3 Minuten in eine Phase submaximaler Belastung zu versetzen.

Zunächst erfolgte jedoch nach absoluter Ruhe des Patienten vor der Belastung eine dreimalige Messung des Ruheblutdruckes an beiden Armen und an einem Bein in Abständen von jeweils 2 Minuten (1., 3. und 5. Minute, Abb. 14).

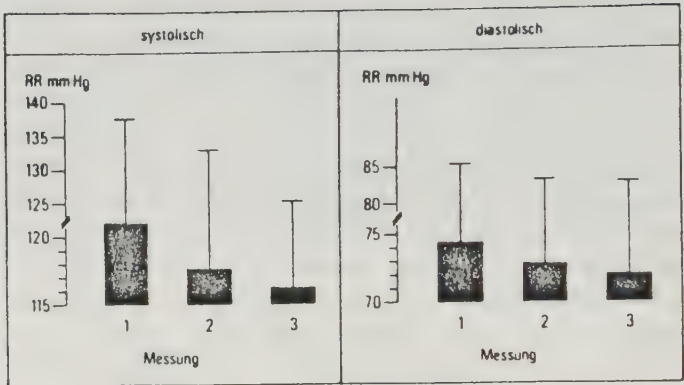


Abb. 14: Abfall der systolischen und diastolischen Blutdruckwerte bei drei aufeinander folgenden Blutdruckmessungen. Es sind die Mittelwerte und Standardabweichungen aus jeweils mehr als 1 000 Einzelmessungen dargestellt.
aus: VETTER und VETTER (1982)

Diese dreimalige Blutdruckmessung an den Armen hielten wir für notwendig, zumal Blutdruckerhöhungen bei Jugendlichen auf emotionale Einflüsse zurückgeführt werden können (LEWIN 1961, LOSSE 1966, VETTER und VETTER 1982; Abb. 15) und die systolische Druckabnahme nach einem Ruheintervall als eine Adaptation an die Untersuchungssituation angesehen werden kann (MEESMANN et al. 1970). Diese beruht im wesentlichen auf einer Reduktion des Herz-Zeit-Volumens, wobei sowohl Herzfrequenz als auch das Schlagvolumen abnehmen.

In der dritten Minute einer jeden Belastungsstufe registrierten wir die Herzfrequenz sowie den systolischen und diastolischen Blutdruck an beiden Oberarmen (auskultatorisch und automatisch mit dem Exercise Monitor) sowie das EKG. Nach Abschluß der Belastung wurden wiederum in der 1., 3. und 5. Minute der Blutdruck an beiden Oberarmen und an einem Bein registriert.

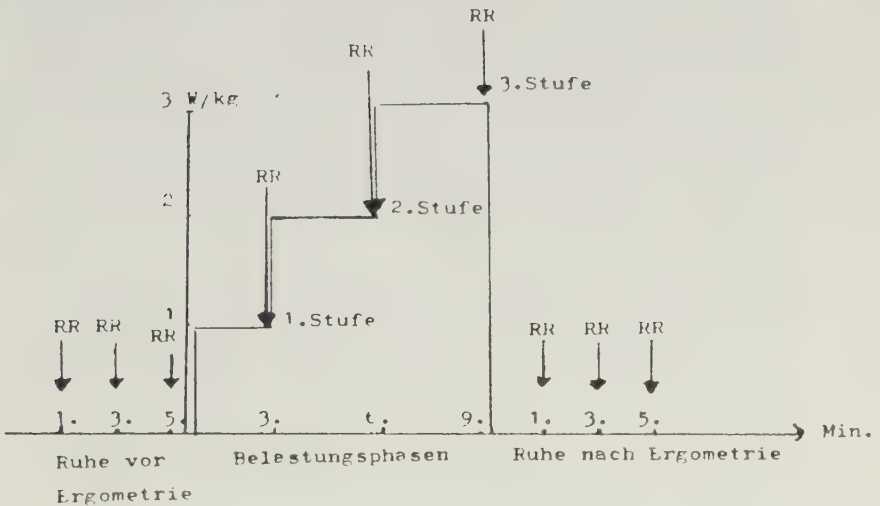


Abb. 15: Schema unseres Untersuchungsablaufes

5.1.3 Statistik

Die statistische Auswertung unserer Untersuchungsergebnisse erfolgte mit dem System 45 Desktop-Computer der Firma Hewlett-Packard. Die gewonnenen Daten, wie beispielsweise die systolischen und diastolischen Blutdruckwerte sowie die Herzfrequenzen vor, während und nach Belastung, wurden für jeden Patienten in numerierter Reihenfolge gesondert eingegeben und auf Magnetcassette gespeichert.

Die Berechnung der arithmetischen Mittelwerte, der Standardabweichung, der Korrelationen und der Signifikanzberechnungen erfolgte nach Eingabe entsprechender Programme, wobei die Resultate maschinell ausgedruckt wurden.

Die Signifikanzberechnungen erfolgten mit Hilfe des gepaarten t-Testes und der Varianz-Analyse. War der errechnete Wert von $p > 0,05$, so galt das Ergebnis als nicht signifikant; bei $p < 0,05$ war die Aussage signifikant und ab $p < 0,01$ wurde das Resultat als hochsignifikant eingestuft.

Eine Korrelation vermag mittels statistischer Erhebungen eine lineare Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalen (Meßgrößen) darzustellen. Das Ausmaß dieses linearen Zusammenhanges zwischen zwei Zufallsvariablen wird durch den Korrelationskoeffizienten "r" ausgedrückt. Dieser kann Werte von -1 bis +1 annehmen. Bei unseren Untersuchungen errechneten wir die Korrelationen zwischen direkter und indirekter Blutdruckmeßmethodik mit Hilfe der polynomi-nalen Regression. Ergab die Berechnung des Korrelationskoeffizienten "r" einen Wert von $< 0,6$, so galt diese Abhängigkeit zwischen beiden untersuchten Variablen als "nicht beweiskräftig". Lag der Wert zwischen 0,6 und 0,75, so war die Aussage "beweiskräftig"; ab 0,75 und darüber galt eine lineare Abhängigkeit als "bewiesen".

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Erreichte Wattstufen

Im Durchschnitt erreichten 84,3 % der Jungen die dritte Belastungsstufe mit 2,5 bzw. 3 W/kg Körpergewicht, während es bei den Mädchen nur 44,9 % waren. In diesen Angaben ist die reine Jungengruppe IV (Handballspieler) ausgespart. 14 % der Jungen schafften die zweite Belastungsstufe mit 2 W/Kg Körpergewicht. Bei den Mädchen war diese zweite Belastungsstufe mit 52,5 % am häufigsten vertreten. Anschließend das Ende der ersten Stufe erreichten 1,6 % der Jungen und 2,5 % der Mädchen (Tab. 9).

35 von insgesamt 169 Patienten/Probanden (20,7 %) brachen bei Beginn oder im Verlauf der dritten Belastungsstufe aus körperlicher Erschöpfung ab, und zwar 19 Jungen und 16 Mädchen.

Gruppe		n	Anzahl (n) bzw. prozentualer Anteil der erreichten Wattstufen					
			1. Stufe		2. Stufe		3. Stufe	
1.1	m+w	25	(1)	4,0 %	(7)	28,0 %	(17)	68,0 %
	m	17	(0)	0,0 %	(6)	35,3 %	(11)	64,7 %
	w	8	(1)	12,5 %	(1)	12,5 %	(6)	75,0 %
1.2	m+w	24	(1)	4,2 %	(2)	8,3 %	(21)	87,5 %
	m	14	(1)	7,1 %	(1)	7,1 %	(12)	85,8 %
	w	10	(0)	0,0 %	(1)	10,0 %	(9)	90,0 %
1.3	m+w	13	(0)	0,0 %	(1)	7,7 %	(12)	92,3 %
	m	12	(0)	0,0 %	(0)	0,0 %	(12)	100,0 %
	w	1	(0)	0,0 %	(1)	100,0 %	(0)	0,0 %
1.4	m+w	15	(0)	0,0 %	(4)	26,6 %	(11)	73,3 %
	m	11	(0)	0,0 %	(0)	0,0 %	(11)	100,0 %
	w	4	(0)	0,0 %	(4)	100,0 %	(0)	0,0 %
1.5	m+w	10	(0)	0,0 %	(3)	30,0 %	(7)	70,0 %
	m	6	(0)	0,0 %	(2)	33,3 %	(4)	66,7 %
	w	4	(0)	0,0 %	(1)	25,0 %	(3)	75,0 %
2	m+w	30	(2)	6,6 %	(6)	20,0 %	(22)	73,4 %
	m	17	(1)	5,8 %	(3)	17,6 %	(13)	76,6 %
	w	13	(1)	7,7 %	(3)	23,0 %	(9)	69,3 %
3.1	m+w	22	(0)	0,0 %	(5)	22,7 %	(17)	77,3 %
	m	21	(0)	0,0 %	(4)	19,0 %	(17)	81,0 %
	w	1	(0)	0,0 %	(1)	100,0 %	(0)	0,0 %
3.2	m+w	10	(0)	0,0 %	(2)	20,0 %	(8)	80,0 %
	m	6	(0)	0,0 %	(0)	0,0 %	(6)	100,0 %
	w	4	(0)	0,0 %	(2)	50,0 %	(2)	50,0 %
4	m	20	(0)	0,0 %	(1)	5,0 %	(19)	95,0 %

Tab. 9: Übersicht der von unseren Patienten/Probanden erreichten Wattstufen; alle Angaben in Prozent

(m = männlich, w = weiblich, n = Anzahl; Gr.1.1 = CoA präop., Gr. 1.2 = CoA postop.-N, Gr. 1.3 = CoA postop.-R+H, Gr. 1.4 = CoA postop.-HØR, Gr. 1.5 = CoA postop.-R+H oder HØR unter antihypertensiver Therapie, Gr. 2 = Probanden, Gr. 3.1 = stabile essentielle Hypertoniker, Gr. 3.2 = labile essentielle Hypertoniker, Gr. 4 = Handballspieler)

Herzfrequenzverhalten unter Belastung

Signifikante Unterschiede zwischen den mittleren Herzfrequenzen der einzelnen Untersuchungsgruppen ergaben sich nur bei den Ruhe-Werten vor Ergometrie bei den präoperativen Patienten mit Aortenisthmusstenose (Gruppe 1.1, n = 25) mit 87/min und bei den Patienten mit postoperativem Normalbefund (Gruppe 1.2, n = 24) mit 92/min, welche damit signifikant höher lagen als die der herzgesunden Probanden (Gruppe 2, n = 30) und die der antihypertensiv behandelten Patienten nach Operation einer Aortenisthmusstenose (Gruppe 1.5, n = 10) mit jeweils 77/min sowie die der Handballspieler (Gruppe 4, n = 20) mit 80/min (Tab. 10)

Unter submaximaler Belastung stieg die Herzfrequenz zum Ende der 3. Minute der 3. Belastungsstufe im Mittel in allen Untersuchungsgruppen hochsignifikant auf Werte von 149/min (Gruppe 1.4) bis 169/min (Gruppe 1.3), im Mittel aller Untersuchungsgruppen auf 158/min an, auch bei den trainierten Handballspielern (Gruppe 4) auf 158/min, so daß hier ein Trainingseffekt nicht erkennbar war. Nach Belastung erreichten die mittleren Herzfrequenzen auch in der 5. Minute noch nicht wieder ihre Ruhe-Ausgangswerte, hier jedoch ohne signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen.

U-Gr.	n	Ruhe vor Ergometrie ($\bar{x} \pm$ SD)	Belastung 2. Stufe ($\bar{x} \pm$ SD)	3. Stufe ($\bar{x} \pm$ SD)	1. Min. ($\bar{x} \pm$ SD)	Ruhe nach Belastung 3. Min. ($\bar{x} \pm$ SD)	5. Min. ($\bar{x} \pm$ SD)	Signifikanz Ruhe/ Ruhe/ Emax vor/na.	
1.1	25	86,9 $\pm$ 12,7	117,5 $\pm$ 12,2	136,2 $\pm$ 16,7	155,8 $\pm$ 21,2	111,2 $\pm$ 24,4	99,2 $\pm$ 16,7	98,3 $\pm$ 13,5	0.000
1.2	24	91,5 $\pm$ 13,4	118,1 $\pm$ 17,7	145,2 $\pm$ 21,2	157,7 $\pm$ 20,1	113,0 $\pm$ 27,1	101,6 $\pm$ 20,7	92,3 $\pm$ 18,9	0.000
1.3	13	85,1 $\pm$ 15,4	124,9 $\pm$ 14,5	144,1 $\pm$ 17,9	169,3 $\pm$ 16,0	125,0 $\pm$ 18,7	103,8 $\pm$ 17,2	101,7 $\pm$ 5,5	0.000
1.4	15	85,5 $\pm$ 21,0	110,7 $\pm$ 8,2	130,2 $\pm$ 17,6	148,7 $\pm$ 18,8	113,3 $\pm$ 24,6	94,4 $\pm$ 16,4	94,3 $\pm$ 13,5	0.001
1.5	10	76,6 $\pm$ 12,9	107,7 $\pm$ 23,7	134,4 $\pm$ 22,2	164,5 $\pm$ 29,3	103,6 $\pm$ 6,3	95,1 $\pm$ 20,7	100,8 $\pm$ 26,5	0.000
2	30	77,0 $\pm$ 17,5	109,8 $\pm$ 14,9	136,2 $\pm$ 22,8	155,9 $\pm$ 21,0	103,7 $\pm$ 27,5	91,3 $\pm$ 17,2	92,8 $\pm$ 22,8	0.000
3.1	22	80,5 $\pm$ 17,5	118,8 $\pm$ 22,5	145,8 $\pm$ 22,8	155,7 $\pm$ 20,8	113,8 $\pm$ 21,9	105,6 $\pm$ 22,1	98,0 $\pm$ 22,8	0.000
3.2	10	79,3 $\pm$ 15,3	119,5 $\pm$ 12,3	143,1 $\pm$ 18,6	160,6 $\pm$ 21,5	110,5 $\pm$ 24,4	103,8 $\pm$ 20,5	89,3 $\pm$ 13,0	0.000
4	20	79,9 $\pm$ 10,3	112,7 $\pm$ 9,1	134,2 $\pm$ 11,5	157,8 $\pm$ 12,7	111,9 $\pm$ 13,1	98,0 $\pm$ 8,9	94,0 $\pm$ 10,0	0.000

Tab. 10: Mittelwerte ($\bar{x} \pm SD$) der Herzfrequenz, registriert mit Hilfe des Elektrokardiogramms in der 5. Minute der Ruhe vor der Belastung, in der jeweils 3. Minute der 1., 2. und 3. Belastungsstufe sowie in der 1., 3. und 5. Minute der Ruhe nach Belastung.
 Signifikanz Ruhe/Emax = signifikanter Unterschied zwischen Ruheausgangswert und maximalem Belastungswert (3. Minute der 3. Belastungsstufe). Signifikanz Ruhe vor/na. = Unterschied zwischen Ruheausgangswert der 5. Minute vor Belastung und dem Ruhewert 5 Minuten nach Belastung

5.2.2 Korrelation invasiv gemessener arterieller Drucke mit nicht-invasiv gemessenen Blutdruckwerten in Ruhe und unter Ergometrie

Zur Überprüfung der Zuverlässigkeit auskultatorisch ermittelter Blutdruckwerte führten wir unter Ruhe- und Belastungsbedingungen simultane indirekte und direkte Blutdruckmessungen durch. Die dabei registrierten systolischen bzw. diastolischen Druckwerte wurden als Regressionsgeraden aufgetragen und die jeweiligen Korrelationskoeffizienten errechnet.

Korrelation der Ruhe-Werte (Abb. 16 - 21)

Zwischen dem indirekt am rechten Arm gemessenen systolischen Blutdruck (PRR syst.) und dem simultan ermittelten Druck im linken Ventrikel (PLV syst.) ergab sich unter 39 Patienten bzw. in der Aorta ascendens unter 80 Patienten ein Korrelationskoeffizient von jeweils $r = 0,895$ (Abb. 16, 17).

Ein Vergleich des systolischen indirekten Blutdruckes am Arm mit dem in der Arterie brachialis des anderen Armes führte an einer Gruppe von 27 Patienten fast zu einer linearen Beziehung bei einem $r = 0,975$ (Abb. 18). Setzt man die systolischen RR-Werte aus der descendierenden Aorta (P DAO sys.) mit den indirekt mittels Doppler-Technik (P RRD sys.) am Bein gefundenen systolischen Werten in Beziehung, so liegt der Korrelationskoeffizient unserer Patienten bei $0,76$; $n = 28$ (Abb. 19).

Vergleicht man die indirekt und direkt gemessenen diastolischen Druckwerte des rechten Armes und der Aorta ($n = 80$) bzw. des rechten Armes und der Arteria brachialis ($n = 27$) miteinander, so betragen die Korrelationskoeffizienten $0,57$ bzw. $0,64$ (Abb. 20, 21).

1. Zufallsvariable	2. Zufallsvariable	n	Korrelations- koeffizient "r"	
P RR syst. am Arm	P LV syst.	39	0,895	Abb. 16
P RR syst. am Arm	P art. syst.	80	0,895	Abb. 17
P RR syst. am Arm	P art. brach. syst.	27	0,975	Abb. 18
P RRD syst. am Bein (D = Doppler)	P DAo syst.	28	0,76	Abb. 19
P RR diast.am Arm	P art. diast.	80	0,57	Abb. 20
P RR diast.am Arm	P art. brach. diast.	27	0,64	Abb. 21

Tab. 11: Übersicht der miteinander in Bezug gesetzten Zufallsvariablen mit ihren jeweiligen Korrelationskoeffizienten
(n = Anzahl der Patienten)



Abb. 16



Abb. 17

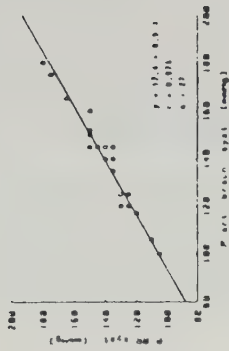


Abb. 18

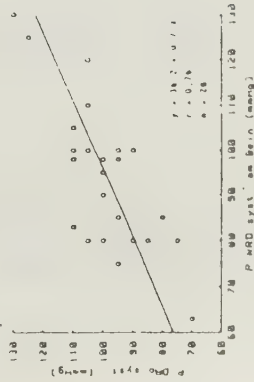


Abb. 19

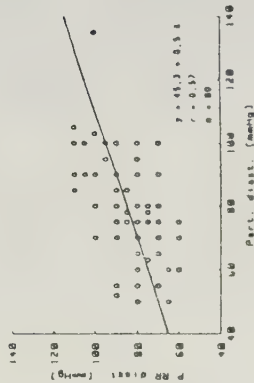


Abb. 20

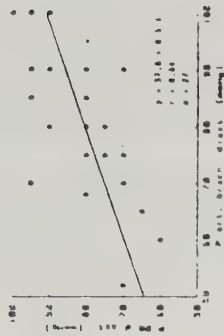


Abb. 21

Abb. 16 – 21: Regressionsgeraden bei direkt und indirekt durchgeführten Blutdruckmessungen.

Die indirekten Messungen erfolgten am rechten Arm (P RR syst./diast.) durch Auskultation mittels Stethoskop bzw. am rechten Bein (P RR D syst.) mittels Doppler-Technik. Die direkten Messungen wurden im Linken Ventrikel (PLV syst.) in der ascendierenden Aorta (Part. syst./diast.), der descendierenden Aorta (P DAO syst.) und der Arteria brachialis (P art. brach. syst./diast.) durchgeführt.

Korrelation der Blutdruckwerte unter Ergometrie

Bei 12 Jungen und Mädchen im Alter von 7 - 15 Jahren wurde der systolische Blutdruck in der ascendierenden Aorta (PAAo syst.) und zeitgleich am rechten Arm (P RR syst.) in der 3. Minute der 3. Belastungsstufe gemessen und die erhaltenen Werte miteinander in Beziehung gebracht. Dabei fand sich eine Korrelation "r" von 0,76 (Abb. 22).

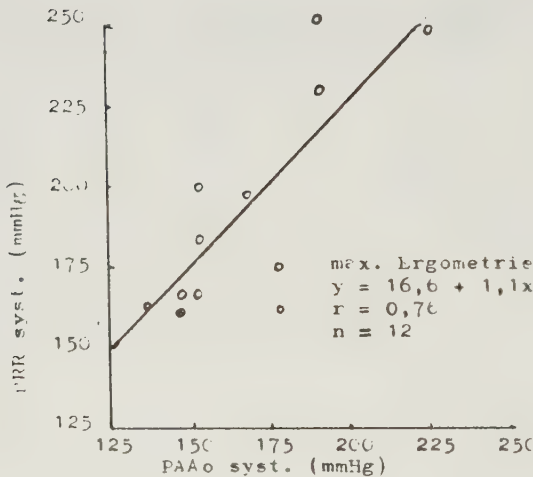


Abb. 22: Korrelation des indirekt am Arm ermittelten systolischen Blutdruckes (P RR syst.) und des zeitgleich direkt in der ascendierenden Aorta (PAAo syst.) registrierten RR unter ergometrischer Belastung bei 12 Patienten.

5.2.3. Reproduzierbarkeit der Blutdruckmessungen unter Ergometrie

Die Reproduzierbarkeit ergometrisch gewonnener Blutdruckmessungen wurde an zwei Gruppen geprüft:

Die eine Gruppe bestand aus 13 Jungen und Mädchen mit einer Aortenisthmusstenose prä- oder postoperativ. Bei der Erstuntersuchung waren sie im Durchschnitt 156,7 Monate = 13 Jahre und bei der Kontrolluntersuchung 164,5 Monate = 13 8/12 Jahre alt. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der ersten und der zweiten Untersuchung zeigt (Tab. 12), daß die zu verschiedenen Zeiten durchgeführten Blutdruckmessungen nur geringfügig differieren. Dies gilt in besonderem Maße für den systolischen Druckanstieg bzw. die Druckdifferenz zwischen dem Ruhewert vor Ergometrie und dem unter Belastung erreichten Blutdruck, der im Mittel nur 1,5 mmHg beträgt. Noch klarer ist ein Vergleich der systolischen Blutdruckgradienten zwischen Arm und Bein in Ruhe beziehungsweise direkt nach Belastung. Hierbei liegen die Differenzen zwischen Erst- und Kontrolluntersuchung nur bei 0,4 beziehungsweise bei 0,6 mmHg, sind also fast identisch.

Die zweite Gruppe umfaßt 15 Jungen und Mädchen mit essentieller Hypertonie, die bei der Erstuntersuchung im Durchschnitt 184,9 Monate = 15 5/12 Jahre und bei der Kontrolluntersuchung im Mittel 198,5 Monate = 16 6/12 Jahre alt waren. Es ergaben sich auch in dieser Gruppe gute Übereinstimmungen der systolischen RR-Werte, die im Abstand von 13 Monaten durchgeführt wurden. Auch hier ist der systolische Blutdruckanstieg unter Belastung zu beiden Untersuchungsterminen nahezu identisch (Differenz: 0,5 mmHg). Auch der systolische Ruhedruckgradient zwischen Arm und Bein liegt nur um 1,5 mmHg bei beiden Messungen auseinander. Da der systolische Blutdruckgradient nach maximaler Belastung zwischen Arm und Bein in der Gruppe der essentiellen Hypertoniker bei einigen Patienten bei der Erstuntersuchung nicht bestimmt wurde, stehen diese Werte zum Vergleich nicht zur Verfügung.

	Patienten mit Aortenisthmusstenose prä- oder postoperativ (n = 13)		Patienten mit essentieller Hypertonie (n = 15)			
	Erstunter- suchung x $\pm$ SD (mmHg)	Kontrollunter- suchung x $\pm$ SD (mmHg)	Differenz zw. Erst- u. Kontroll- unters. (mmHg)	Erstunter- suchung x $\pm$ SD (mmHg)	Kontrollunter- suchung x $\pm$ SD (mmHg)	Differenz zw. Erst- u. Kontroll- unters. (mmHg)
RR systolisch vor Ergometrie	145,7 $\pm$ 18,0	142,3 $\pm$ 14,8	3,4	141,6 $\pm$ 13,4	145,0 $\pm$ 12,2	3,4
RR systolisch bei max. Ergometrie	211,7 $\pm$ 21,2	204,0 $\pm$ 25,4	7,7	197,5 $\pm$ 17,6	202,3 $\pm$ 22,1	4,8
systolischer RR-Anstieg Ruhe $\rightarrow$ Ergometrie max.	63,0 $\pm$ 18,2	61,5 $\pm$ 17,1	1,5	57,8 $\pm$ 16,2	57,3 $\pm$ 15,2	0,5
systolischer Δ P zwischen Arm und Bein in Ruhe	50,8 $\pm$ 19,0	50,4 $\pm$ 21,0	0,4	13,5 $\pm$ 3,7	15,0 $\pm$ 6,3	1,5
systolischer Δ P zwischen Arm und Bein direkt nach max. Ergo.	115,1 $\pm$ 16,5	114,5 $\pm$ 27,2	0,6	/	64,1 $\pm$ 12,8	/

Tab. 12: Zusammenstellung der systolischen Blutdruckwerte von 13 Patienten mit CoA prä- bzw. postoperativ und 15 Patienten mit essentieller Hypertonie, die zu zwei verschiedenen Untersuchungsterminen geladen wurden. Die Messungen erfolgten mittels indirekter Meßmethodik an einem Arm vor und während maximaler ergometrischer Belastung sowie simultan an einem Arm und an einem Bein (mittels Doppler) in Ruhe vor und direkt nach maximaler Belastung

5.2.4. Blutdruckverhalten während Ergometrie

Die Untersuchungsergebnisse der einzelnen Untersuchungsgruppen sind - jeweils im Vergleich zu den herzgesunden Probanden - in den Abb. 22 - 30 dargestellt und in den Tab. 13 und 14 zusammengefaßt.

Bei den Patienten mit einer CoA vor Operation (Gruppe 1.1.) lag der arithmetische Mittelwert des systolischen Ruhe-Blutdrucks bei 136,4 (+16,1) mmHg (Abb. 22, Tab. 13) und damit auf der 95. Percentile der altersentsprechenden Normwerte (BLUMENTHAL et al. 1977). Unter steigender Belastung kletterte der systolische Blutdruck relativ gleichmäßig bis auf einen erhöhten Maximalwert von 199,4 (+36,9) mmHg, fiel dann in der 1. Minute nach der Belastung zunächst um ca. 43 mmHg sehr stark, in der 3. und 5. Minute nur noch gering um 12,9 bzw. 6,6 mmHg ab.

Beim diastolischen RR (Abb. 22, Tab. 14) zeigte sich nach einem Ruhe-Ausgangswert von 84,7 (+14,7) mmHg (90. Percentile) in der ersten und zweiten Belastungsstufe ein stetiger Blutdruckanstieg bis auf ein Maximum von 99,9 (+18,9) mmHg. In der 3. Belastungsstufe fiel der diastolische RR wieder leicht auf einen Wert von 94,4 (+24,8) mmHg ab. Bereits in der 3. Minute nach Belastung wurde mit einem diastolischen Wert von 84,3 mmHg der Ausgangswert vor Belastung wieder erreicht.

Die systolischen Ruhe- und Belastungsdruckwerte mit präoperativer CoA lagen damit hochsignifikant höher im Vergleich zu denen der herzgesunden Probanden. Beim diastolischen Blutdruck waren die Unterschiede vor und nach Belastung ebenfalls hochsignifikant, bei maximaler ergometrischer Belastung nicht statistisch signifikant (Tab. 15).

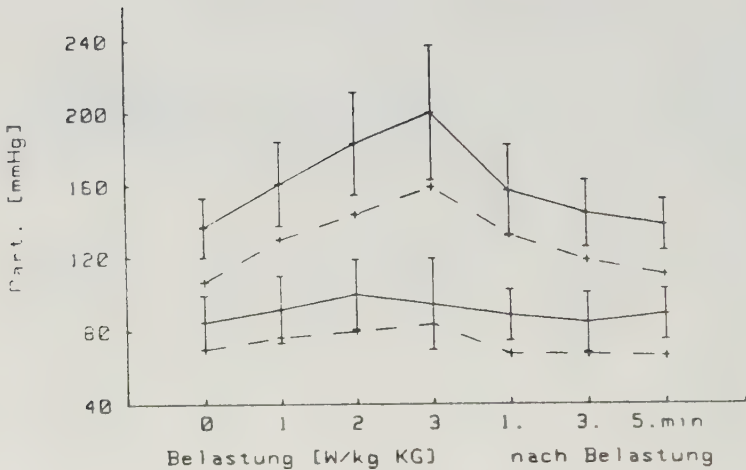


Abb. 22: Gruppe 1.1 = CoA präoperativ
(--+- = herzgesunde Probanden)

In der Gruppe der Patienten nach Operation einer CoA ohne Re-CoA und ohne persistierende Hypertonie (Gruppe 1.2, Abb. 23 und Tab. 13) lag der systolische Ruhe-Ausgangswert mit $120,2(+12,2)$ mmHg (50. - 75. Percentile) im Normbereich. In der ersten Belastungsstufe zeigte sich ein Blutdruckanstieg um 24 mmHg auf $144,2(+21,2)$ mmHg, in der 2. und 3. Belastungsstufe nur noch um ca. 14 mmHg beziehungsweise 17,4 mmHg bis auf einen Maximalwert von $175,9(+24,3)$ mmHg. In der Erholungsphase fiel der systolische Blutdruck erst etwas schneller auf 151,6 mmHg, später etwas langsamer auf 133,5 beziehungsweise 125,8 mmHg in der 3. beziehungsweise 5. Minute ab.

Der diastolische RR dieser Gruppe (Abb. 23 und Tab. 14) stieg von seinem Ausgangswert mit 76,2($\pm$ 11,8) mmHg (50. Percentile) langsam und kontinuierlich bis auf 86,6 mmHg in der dritten Belastungsstufe an, um dann in der 1. Erholungsminute wieder auf einen Wert von 73,0 mmHg abzufallen, der in etwa auch in den darauffolgenden zwei Messungen in der 3. und 5. Minute nach Belastung konstant blieb.

Im systolischen Bereich ergaben sich bei einem Vergleich mit der Gruppe der Probanden vor und nach Belastung hochsignifikante und während maximaler Belastung signifikante Differenzen; die diastolischen Blutdruckverlaufskurven beider Gruppen (Gruppe 1.2 und 2) weisen dagegen nur vor und in der 5. Minute nach Belastung signifikante Unterschiede auf (Tab. 15).

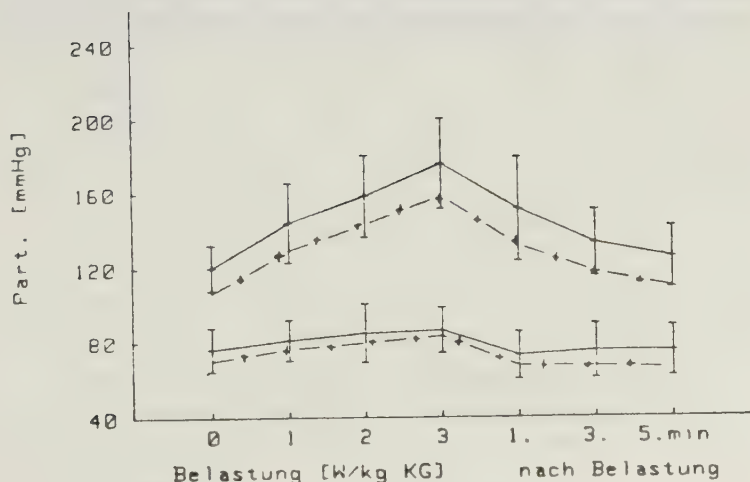


Abb. 23: Gruppe 1.2 = CoA postoperativ (N)
(--- = herzhgesunde Probanden)

Die Patienten mit einer Re-CoA nach CoA-Operation (Gruppe 1.3, Abb. 24, Tab. 13) hatten einen systolischen RR-Ruhewert von $138,8(\pm 16,0)$ mmHg (90. - 95. Percentile). Unter Belastung kletterte er bis auf einen erhöhten Maximalwert von $207,3(\pm 17,7)$ mmHg sehr steil an, fiel aber auch ebenso stark wieder nach Belastung auf einen Wert von $133,1(\pm 9,0)$ mmHg in der 5. Minute nach Belastung ab. Im diastolischen Bereich (Abb. 24, Tab. 14) lag der Ruhe-Blutdruckwert bei $73,4(\pm 15,0)$ mmHg und er stieg in der zweiten Belastungsstufe auf seinen Maximalwert von $83,3(\pm 14,6)$ mmHg an. In der dritten Belastungsstufe betrug er nur noch $79,1(\pm 18,9)$ mmHg und in den darauffolgenden fünf Erholungsminuten sank er auf $71,0$ bzw. $72,2$ mmHg ab und unterbot damit knapp seinen Ausgangswert vor Belastung.

Im Vergleich zu den herzgesunden Probanden waren die systolischen RR-Werte der Patienten mit einer Re-CoA nach CoA-Operation vor, während und nach ergometrischer Belastung stets statistisch hochsignifikant größer. In den diastolischen Blutdruckverlaufskurven lassen sich hingegen zu keinem Zeitpunkt signifikante Differenzen nachweisen (Tab.15).

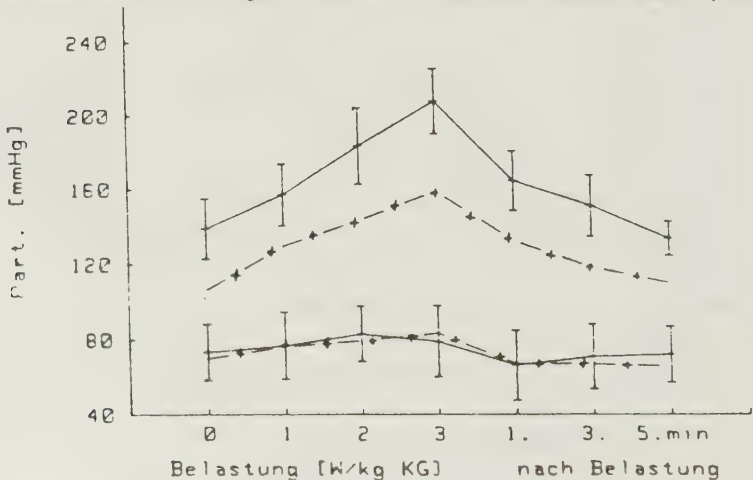


Abb. 24: Gruppe 1.3 = CoA postoperativ (R + H)
(--+- = herzgesunde Probanden)

Die Patienten mit persistierender arterieller Hypertonie post CoA-Op. ohne Re-CoA (Gruppe 1.4, Abb. 25, Tab. 13) zeigten die höchsten systolischen Ausgangswerte mit 144,2(+15,4) mmHg (90. - 95. Percentile). In dieser Gruppe kletterte der systolische Blutdruck anfangs sehr steil, später etwas langsamer auf den Maximalwert in der 3. Belastungsstufe von 207,4 (+22,7) mmHg. Nach Belastung sank er sehr rasch wieder auf einen Endwert von 137,7 mmHg in der 5. Minute nach Belastung, womit er sogar um 6,5 mmHg unter seinem Ruhewert vor Belastung lag.

Im diastolischen Bereich (Abb. 25, Tab. 14) - Ausgangswert 85,1(+9,8) mmHg (75. - 90. Percentile) - steigerte sich der Blutdruck konstant unter Belastung bis auf 99,1(+17,1) mmHg, um in der Ruhephase wieder rasch auf einen Wert in der 5. Minute von 79,0(+10,9) mmHg abzufallen.

Die systolischen Blutdruckwerte hatten somit stets ein statistisch hochsignifikant höheres Niveau als die der Kontrollgruppe (Gr. 2), während im diastolischen Bereich vor Belastung ein hochsignifikanter, bei maximaler Belastung kein signifikanter und in der 5. Minute nach Belastung wiederum ein signifikanter Unterschied nachweisbar waren.

(Tab. 14).

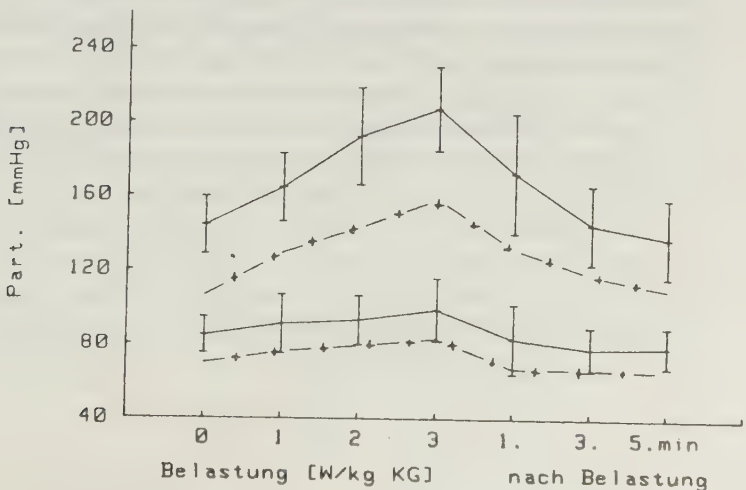


Abb.25: Gruppe 1.4 = CoA postoperativ (H Ø R)
(--+- = herzgesunde Probanden)

Bei den Patienten mit Re-CoA und Hypertonie oder Hypertonie ohne nachweisbare Re-CoA und zusätzlicher medikamentöser Therapie (Gruppe 1.5, Abb. 26, Tab. 13) lag der systolische RR-Ausgangswert bei $143,6(\pm 20,2)$ mmHg (95. Perzentile). Unter ansteigender Belastung kletterte der systolische Blutdruck in der dritten Belastungsstufe auf $220,0(\pm 37,7)$ mmHg an, um in der Erholungsphase nach Belastung dann wieder schnell in der 1. Minute um circa 50 mmHg abzusinken; in der 3. und 5. Minute nach Belastung setzte sich der Abfall des Blutdruckes - allerdings wesentlich langsamer - fort. Der letzte Meßwert lag mit $139,4(\pm 30,6)$ mmHg unter dem Ruhe-Ausgangswert des systolischen Blutdruckes vor Belastung. Die diastolische Blutdruckverlaufskurve läßt keinen konstanten Blutdruckanstieg unter zunehmender Belastung erkennen. Der diastolische RR-Wert in der 5. Minute nach Belastung stimmt mit dem Ausgangswert vor Belastung fast genau überein.

Auch in dieser Gruppe von Patienten mit einer Re-CoA und Hypertonie oder Hypertonie ohne nachweisbarer Re-CoA mit medikamentöser Therapie werden bei einem Vergleich mit den herzgesunden Probanden die stets hochsignifikanten Blutdruckunterschiede im systolischen Bereich deutlich, während die diastolischen Blutdruckwerte erst in der 5. Minute nach Belastung eine statistisch signifikante Differenz erkennen lassen (Tab. 15).

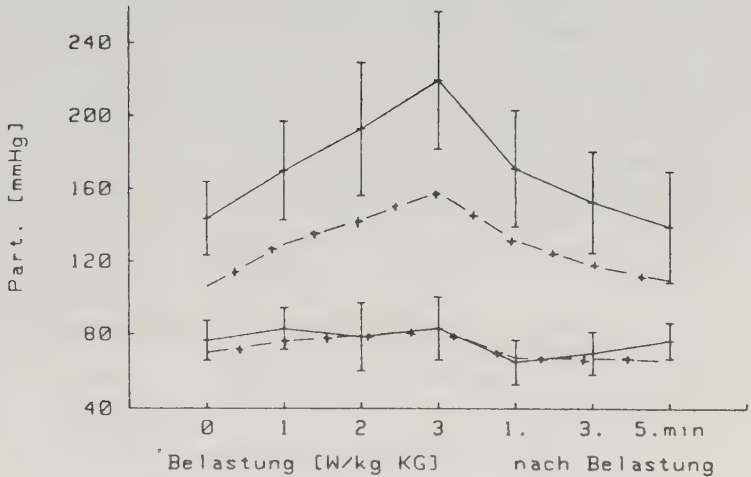


Abb. 26: Gruppe 1.5 = CoA postoperativ unter Therapie
(--+- = herzgesunde Probanden)

Der systolische Ruhewert der Probanden (Gruppe 2, Abb. 27, Tab. 13) lag mit $106,5(\pm 13,5)$ mmHg (25. Percentile) im Normbereich. Bei Belastung zeigt sich in dieser Gruppe ein konstanter RR-Anstieg bis zu einem Höchstwert von $158,5(\pm 20,8)$ mmHg. Nach Belastung fällt der RR wieder stetig ab, anfangs schneller, später etwas langsamer bis auf einen 5-Minuten Ruhewert von $110,0 (\pm 11,1)$ mmHg. Der diastolische Ruhewert von $69,9 (\pm 10,2)$ mmHg (25. Percentile) steigt bei Belastung konstant bis auf einen Wert von $83,5$ mmHg an, um in der Ruhephase bei einem Wert von ca. 67 mmHg in allen drei Ruhemessungen zu stagnieren.

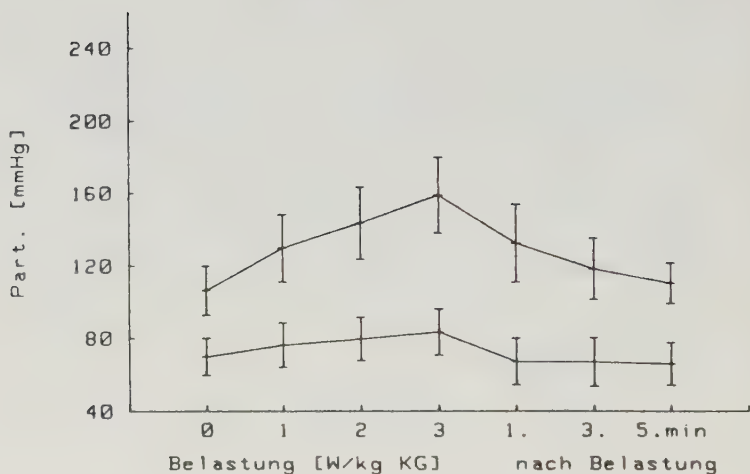


Abb. 27: Gruppe 2 = Probanden

Bei den Patienten mit stabiler essentieller Hypertonie (Gruppe 3.1, Abb. 28, Tab. 13) betrug der systolische RR-Ausgangswert $137,0(\pm 13,3)$ mmHg und lag damit zwischen der 75. und 95. altersentsprechenden Percentile. Mit zunehmender Belastung erreichte er $206,1(\pm 15,8)$ mmHg. Nach Belastung sank der systolische RR bis zur 1. Minute recht schnell, danach langsamer bis auf $145,5(\pm 15,4)$ mmHg in der 5. Minute nach Belastung ab.

Diastolisch zeigt sich in dieser Gruppe ein Ausgangswert von $81,0(\pm 15,4)$ mmHg (Abb. 28, Tab 14), der unter Belastung deutlich bis zur dritten Belastungsstufe ansteigt. Anschließend fällt der diastolische RR bis zur 3. Minute nach Belastung bis auf $73,1(\pm 16,8)$ mmHg ab und nimmt dann in der 5. Minute nach Belastung wieder leicht um 5 mmHg zu.

Die Unterschiede im systolischen Blutdruckverlauf sind zwischen den stabilen essentiellen Hypertonikern und den herzgesunden Probanden vor, während und nach Belastung hochsignifikant. Für die Messungen vor und in der 5. Minute nach Belastung trifft dies auch für den diastolischen Blutdruck zu, jedoch nicht bei maximaler Belastung; hierbei ergab sich keine signifikante Differenz (Tab. 15).

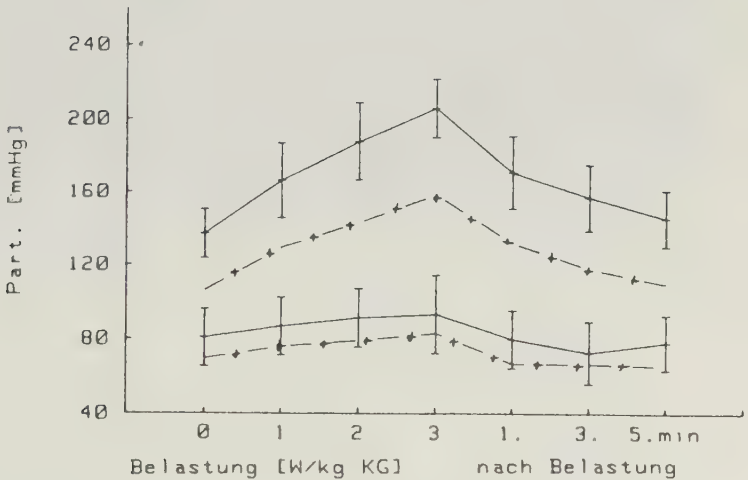


Abb. 28: Gruppe 3.1 = stabile essentielle Hypertoniker
(---+--- = herzgesunde Probanden)

Der Ruhe-Ausgangswert der Patienten mit labiler essentieller Hypertonie (Gruppe 3.2, Abb. 29, Tab. 13) lag mit systolisch $123,0(\pm 8,5)$ mmHg (50. Percentile) im Normbereich. Unter ansteigender Belastung wurde bei 3 W/kg KG ein systolischer RR von $186,2(\pm 19,0)$ mmHg registriert. In der anschließenden Ruhephase kehrte der RR im Gegensatz zur Gruppe der stabilen Hypertoniker innerhalb von 5 Minuten bis auf seinen Ruhewert von ca. 124 mmHg vor Belastung zurück.

Der diastolische RR-Verlauf zeigt ausgehend von $73,5(\pm 5,2)$ mmHg (25. - 50. Percentile) einen allmählichen Blutdruckzuwachs bis auf 81,5 bzw. 81,2 mmHg, fällt aber in Ruhe bis auf Werte um 64,5 mmHg ab. Auch hier steigt er in der 5. Minute nach Belastung wieder leicht an.

Die systolischen Ruhe- und Belastungs-Blutdruckwerte der Patienten mit labiler essentieller Hypertonie lagen damit hochsignifikant über denen der herzgesunden Kontrollgruppe, während sich die diastolischen Blutdruckwerte der beiden Gruppen unter Ruhe- und Belastungsbedingungen nicht signifikant unterschieden (Tab. 15).

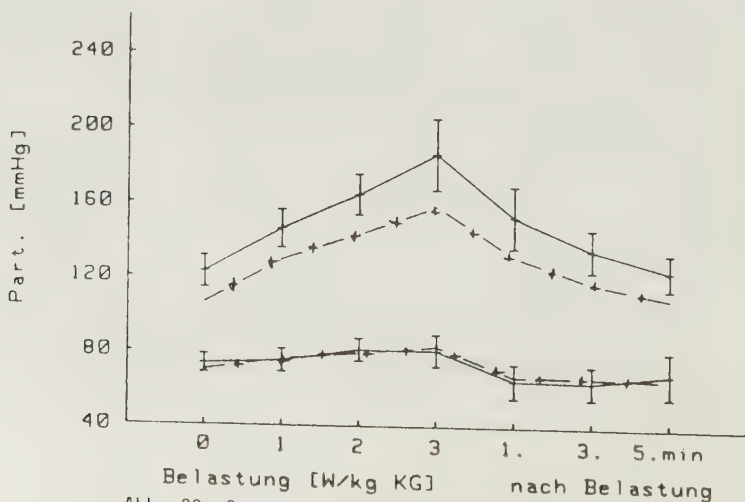


Abb. 29: Gruppe 3.2 = labile essentielle Hypertoniker
(---+--- = herzgesunde Probanden)

Die 20 Handballspieler (Gruppe 4, Abb. 30, Tab 13) waren ausgehend von einem mittleren systolischen Ruhewert von 123,0(+14,3) mmHg (50. - 75. Percentile), durch einen starken systolischen RR-Anstieg unter Belastung gekennzeichnet, der deutlich über den der herzgesunden Probanden hinausging. Das systolische Maximum lag bei 190,0 (+27,6) mmHg. Nach Belastung fiel der systolische RR rasch wieder ab, erreichte jedoch mit 127,1(+14,2) mmHg in der 5. Minute nach Belastung nicht ganz seinen Ausgangswert vor Belastung wieder.

Im diastolischen Bereich stieg der RR von 77,3(+7,8) mmHg (50. Percentile) bis auf maximal 83,0(+5,9) mmHg in der 2. Belastungsstufe an. Nach Belastung fiel der diastolische RR deutlich bis auf Werte um ca. 70 mmHg ab.

Die systolischen Blutdruckwerte der Handballspieler waren damit vor, während und nach Belastung statistisch hochsignifikant höher als die der Probanden, während die diastolischen Blutdruckwerte nur vor Belastung eine hochsignifikante Differenz zwischen beiden Gruppen erkennen ließen (Tab. 15).

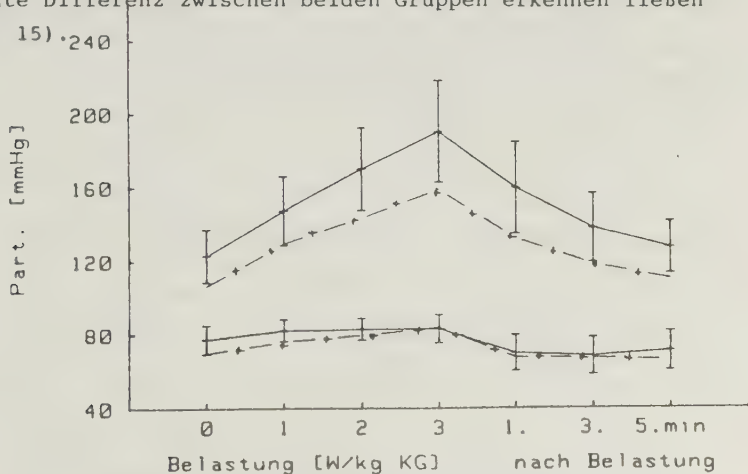


Abb. 30: Gruppe 4 = Handballer
(--+- = herzgesunde Probanden)

Blutdruckverhalten unter fahrradergometrischer Belastung

Gruppe	n	Ruhe vor	Belastung			Ruhe nach Belastung		
		Ergo. $\bar{x} \pm SD$	1. Stufe $\bar{x} \pm SD$	2. Stufe $\bar{x} \pm SD$	3. Stufe $\bar{x} \pm SD$	1. Min. $\bar{x} \pm SD$	3. Min. $\bar{x} \pm SD$	5. Min. $\bar{x} \pm SD$
1.1	25	126,4 + 16,1	160,3 + 23,3	182,5 + 28,9	199,4 + 36,9	156,5 + 25,1	143,6 + 18,5	137,0 + 14,0
1.2	24	120,2 + 12,2	144,2 + 21,2	158,5 + 21,9	175,9 + 24,3	151,6 + 27,9	133,5 + 17,7	125,8 + 16,4
1.3	13	138,8 + 16,0	156,9 + 16,6	183,3 + 20,7	207,3 + 17,7	164,2 + 16,1	150,6 + 16,4	133,1 + 9,0
1.4	15	144,2 + 15,4	164,6 + 18,5	192,4 + 26,3	207,4 + 22,7	172,6 + 32,3	145,0 + 21,2	137,7 + 21,2
1.5	10	143,6 + 20,2	170,0 + 27,1	193,0 + 36,6	220,0 + 37,7	171,6 + 31,8	153,0 + 28,0	139,4 + 30,6
2	30	106,5 + 13,5	129,5 + 18,4	143,2 + 19,8	158,5 + 20,8	132,2 + 21,3	118,0 + 16,7	110,0 + 11,1
3.1	22	137,1 + 13,3	166,2 + 20,7	187,9 + 21,1	206,1 + 15,8	171,0 + 20,1	157,0 + 18,4	145,5 + 15,4
3.2	10	123,0 + 8,5	146,0 + 10,2	164,5 + 10,9	186,2 + 19,0	153,1 + 16,6	135,5 + 11,4	124,5 + 9,5
4	20	123,0 + 14,3	147,2 + 18,5	169,7 + 22,4	190,0 + 27,6	159,4 + 24,8	137,7 + 18,6	127,1 + 14,2

Tab. 13: Mittelwerte ($\bar{x}$)+SD des systolischen RR am rechten Arm in der 5. Minute in Ruhe vor Belastung, während drei Stufen der Belastung und in der 1., 3. und 5. Minute nach Belastung

Gruppe	n	Ruhe vor	Belastung			Ruhe nach Belastung		
		Ergo. $\bar{x} \pm SD$	1. Stufe $\bar{x} \pm SD$	2. Stufe $\bar{x} \pm SD$	3. Stufe $\bar{x} \pm SD$	1. Min. $\bar{x} \pm SD$	3. Min. $\bar{x} \pm SD$	5. Min. $\bar{x} \pm SD$
1.1	25	84,7 + 14,7	91,7 + 18,3	99,9 + 18,9	94,4 + 24,8	88,4 + 13,9	84,3 + 16,1	88,6 + 17,3
1.2	24	76,2 + 11,8	81,3 + 11,0	85,1 + 15,8	86,6 + 12,4	73,0 + 12,8	75,4 + 14,7	75,3 + 13,6
1.3	13	73,4 + 15,0	77,0 + 17,8	83,3 + 14,6	79,1 + 18,9	66,3 + 18,7	71,0 + 17,3	72,2 + 14,8
1.4	15	85,1 + 9,8	91,3 + 16,0	93,4 + 13,2	99,1 + 17,1	83,3 + 18,9	78,1 + 11,8	79,0 + 10,9
1.5	10	76,5 + 11,0	83,3 + 11,4	79,0 + 18,6	83,7 + 17,4	65,0 + 12,2	70,0 + 11,7	76,8 + 9,9
2	30	69,9 + 10,2	76,5 + 12,3	79,8 + 11,9	83,5 + 12,7	67,3 + 12,8	67,1 + 13,3	66,0 + 11,6
3.1	22	81,0 + 15,4	87,2 + 15,6	91,8 + 15,7	93,7 + 21,0	80,3 + 15,6	73,1 + 16,8	78,6 + 14,8
3.2	10	73,5 + 5,2	75,5 + 6,4	81,5 + 6,2	81,2 + 8,7	65,0 + 9,3	64,5 + 8,9	69,1 + 12,4
4	20	77,3 + 7,3	82,5 + 5,9	83,0 + 5,9	82,8 + 7,6	69,7 + 9,7	68,2 + 10,0	71,0 + 10,6

Tab. 14: Mittelwerte ($\bar{x}$)+SD des diastolischen RR am rechten Arm in der 5. Minute in Ruhe vor Belastung, während drei Stufen der Belastung und in der 1., 3. und 5. Minute nach Belastung

Unters.- Gruppe	Zeit	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2
1.2	vor E.	0.00/0.03							
	E.max.	0.07/n.s.							
	5'n.E.	0.04/0.01							
1.3	vor E.	n.s./0.03	0.00/n.s.						
	E.max.	n.s./n.s.	0.00/n.s.						
	5'n.E.	n.s./0.00	n.s./n.s.						
1.4	vor E.	n.s./n.s.	0.00/0.02	n.s./0.02					
	E.max.	n.s./n.s.	0.00/0.03	n.s./0.02					
	5'n.E.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.					
1.5	vor E.	n.s./n.s.	0.00/n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.				
	E.max.	n.s./n.s.	0.00/n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.				
	5'n.E.	n.s./0.04	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.				
2	vor E.	0.00/0.00	0.00/0.04	0.00/n.s.	0.00/0.00	0.00/n.s.			
	E.max.	0.00/n.s.	0.01/n.s.	0.00/n.s.	0.00/n.s.	0.00/n.s.			
	5'n.E.	0.00/0.00	0.01/0.04	0.00/n.s.	0.00/0.02	0.00/0.03			
3.1	vor E.	n.s./n.s.	0.00/n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	0.00/0.01		
	E.max.	n.s./n.s.	0.00/n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	0.00/n.s.		
	5'n.E.	n.s./0.04	0.00/n.s.	0.02/n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	0.00/0.01		
3.2	vor E.	0.02/0.03	n.s./n.s.	0.01/n.s.	0.00/0.01	0.01/n.s.	0.01/n.s.	0.00/n.s.	
	E.max.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	0.02/n.s.	0.05/0.02	0.04/n.s.	0.01/n.s.	0.01/n.s.	
	5'n.E.	0.05/0.01	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	0.01/n.s.	0.00/n.s.	
4	vor E.	0.01/0.05	n.s./n.s.	0.01/n.s.	0.00/0.02	0.01/n.s.	0.00/0.01	0.01/n.s.	n.s./n.s.
	E.max.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./0.01	0.03/n.s.	0.00/n.s.	0.04/0.04	n.s./n.s.
	5'n.E.	0.04/0.00	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	0.00/n.s.	0.00/n.s.	n.s./n.s.

Tab. 15: Statistische Signifikanz im Gruppenvergleich: Systolischer/diastolischer Blutdruck am Arm, gemessen vor Ergometrie (vor E.), in der 3. Minute der Belastungsstufe (E.max.) und in der 5. Minute nach Belastung (5'n.E.). n.s. = nicht signifikant

Unters.- gruppe	Zeit	vor E./E.max.		vor E./ 5'n. E.	
		sys.	dia.	sys.	dia.
1.1		0,000	n.s.	n.s.	n.s.
1.2		0,000	0,007	n.s.	n.s.
1.3		0,000	n.s.	n.s.	n.s.
1.4		0,000	0,014	n.s.	n.s.
1.5		0,000	n.s.	n.s.	n.s.
2		0,000	0,000	n.s.	n.s.
3.1		0,000	0,034	n.s.	n.s.
3.2		0,000	0,03	n.s.	n.s.
4		0,004	0,03	n.s.	0,04

Tab. 16: Statistische Signifikanz innerhalb der Gruppen: Systolischer/diastolischer Blutdruck am Arm, gemessen vor Ergometrie (vor E.), in der 3. Minute der 3. Belastungsstufe (E.max.) und in der 5. Minute nach Belastung (5'n.E.). n.s. = nicht signifikant
sys. = systolisch, dia. = diastolisch

5.2.5 Belastungspositives und belastungsnegatives Blutdruckverhalten

Von den 25 Patienten mit einer CoA vor Operation (Gruppe 1.1) absolvierten 17 die 3. Belastungsstufe. Diese zeigten bereits unter Ruhebedingungen einen erhöhten Blutdruck, unter fahrradergometrischer Belastung wiesen sie alle ein belastungspositives Blutdruckverhalten auf (100 % belastungspositiv).

Die Gruppe der postoperativen CoA-Patienten ohne Re-CoA und ohne Hypertonie (Gruppe 1.2) bestand aus insgesamt 24 Patienten, wovon allerdings 3 bei Beginn oder im Verlauf der 3. Belastungsstufe die Untersuchung aus körperlicher Erschöpfung abbrechen mußten. Von den übrigen 21 Patienten, welche in Ruhe einen normotonen Blutdruck hatten, zeigten 10 auch unter maximaler Belastung ein normales RR-Verhalten (47,6 % belastungsnegativ). Die anderen 11 Patienten dieser Gruppe waren allerdings auch unter Belastung hyperten (52,4 % belastungspositiv). In Gruppe 1.3 (CoA postop. mit Re-CoA und Hypertonie) erreichte ein Patient nicht die höchste Belastungsstufe. Die restlichen 12 Patienten waren sowohl vor als auch unter maximaler Belastung hyperten (100 % belastungspositiv).

Von den 15 Patienten der Gruppe 1.4 (CoA postoperativ mit persistierender Hypertonie ohne Re-CoA) erreichten 11 die maximale 3. Belastungsstufe. Sie wiesen alle sowohl in Ruhe als auch unter Belastung erhöhte Blutdruckwerte auf (100 % belastungspositiv).

In der Gruppe der normotonen Probanden (Gruppe 2) schafften von 30 nur 22 die 3. Belastungsstufe. Diese 22 Probanden waren alle (100 %) belastungsnegativ.

Von den stabilen essentiellen Hypertonikern (Gruppe 3.1), deren Gruppe aus 22 Jungen und Mädchen bestand, konnten 5 die 3. Belastungsstufe aus körperlicher Überanstrengung nicht voll durchhalten. Die übrigen 17 Jungen und Mädchen

mit hypertonen Ruhewerten erwiesen sich unter Belastung als belastungspositiv (100 % belastungspositiv).

8 der 10 Patienten mit labilem essentiellen Hypertonus (Gruppe 3.2) bewältigten die 3. Belastungsstufe. Dabei zeigten 50 % unter maximaler Belastung ein belastungs negatives und 50 % ein belastungspositives Blutdruckverhalten.

Die 20 Handballspieler erreichten bis auf eine Ausnahme alle die 3. Belastungsstufe. Drei der 19 Jungen (15,8 %) waren unter Ruhebedingungen normoton und unter maximaler Belastung belastungs negativ; die Mehrheit (84,2 %) hatte zwar in Ruhe ebenfalls einen normalen Blutdruck, unter zunehmender Belastung waren sie dagegen belastungspositiv.

Gruppe	Op.- Alter (mo)	Erg.- Alter (mo)	Blutdruck- verhalten unter Erg.	RR systolisch				RR diastolisch		
				n	Ruhe	max.	Δ RR	Ruhe	max.	Δ RR
1.1	137,6	145,7	belastungs- neg. 0 %	/	/	/	/	/	/	/
			belastungs- pos. 100 %	17	133,1	193,5	60,4	83,4	94,4	11,0
1.2	108,6	166,2	belastungs- neg. 47,6 %	10	111,0	152,5	41,5	68,5	81,5	13,0
			belastungs- pos. 52,4 %	11	125,0	191,3	66,3	76,8	94,0	16,5
1.3	92,6	151,4	belastungs- neg. 0 %	/	/	/	/	/	/	/
			belastungs- pos. 100 %	12	140,4	207,3	66,9	71,6	79,2	7,5
1.4	129,9	190,6	belastungs- neg. 0 %	/	/	/	/	/	/	/
			belastungs- pos. 100 %	11	147,3	214,0	66,1	84,5	98,6	14,1
2	/	146,1	belastungs- neg. 100 %	22	104,5	154,1	49,6	69,1	84,3	15,2
			belastungs- pos. 0 %	/	/	/	/	/	/	/
3.1	/	198,0	belastungs- neg. 0 %	/	/	/	/	/	/	/
			belastungs- pos. 100 %	17	135,5	206,1	70,6	80,2	93,7	13,5
3.2	/	177,0	belastungs- neg. 50 %	4	120,8	170,0	49,2	72,5	80,0	7,5
			belastungs- pos. 50 %	4	126,3	202,5	76,2	75,0	82,5	7,5
4	/	172,5	belastungs- neg. 15,8 %	3	106,6	143,3	36,7	70,3	80,0	9,7
			belastungs- pos. 84,2 %	16	127,1	197,1	70,0	78,8	83,4	4,6

Tab. 17: Arithmetische Mittelwerte des systolischen und des diastolischen Blutdruckes in Ruhe vor Belastung und bei maximaler ergometrischer Belastung mit Angaben über die Häufigkeit belastungsnegativer und belastungspositiver Blutdruckreaktionen in den einzelnen Gruppen

5.2.6. Systolischer Blutdruckgradient zwischen oberer und unterer Körperhälfte

Bei simultaner indirekter Messung des systolischen Blutdruckes am Arm mittels Anaeroidmanometer und am Bein mit Hilfe der Doppler-Technik zeigten sich in den Gruppen 1.2 (Patienten ohne Hypertonie und ohne Re-CoA), Gruppe 2 (Normotoniker), Gruppe 3.1 (stabile essentielle Hypertoniker), Gruppe 3.2 (labile essentielle Hypertoniker) und in der Gruppe 4 (Handballspieler) erwartungsgemäß in Ruhe vor Belastung nur geringe systolische RR-Differenzen zwischen oberer und unterer Extremität. In den übrigen vier Gruppen waren hingegen deutliche Blutdruckdifferenzen - von 23,8 bis 46,7 mmHg - festzustellen, wobei die Blutdruckwerte am Arm immer über denen des Beins lagen.

Da nicht bei allen Patienten bzw. Probanden die Blutdruckwerte am Arm und am Bein durchgeführt werden konnten, differieren die in der Tabelle 18 angegebenen systolischen RR-Mittelwerte ein wenig von den zuvor genannten Durchschnittswerten der Tabelle 13.

Gruppe	n	RR rechter Arm Ruhe vor Ergo. sys. Druck	RR Bein-Doppler Ruhe vor Ergo. sys. Druck	RR rechter Arm 1.Min. nach Ergo. sys. Druck	RR Bein-Doppler 1. Min. nach Ergo. sys. Druck	Δp vor	Δp nach
1.1	6	136,1 $\pm$ 12,3	107,5 $\pm$ 22,1	155,0 $\pm$ 19,2	92,5 $\pm$ 18,1	28,6	62,5
1.2	6	120,0 $\pm$ 7,1	115,0 $\pm$ 17,8	148,6 $\pm$ 28,1	105,0 $\pm$ 11,8	5,0	43,6
1.3	7	144,2 $\pm$ 18,1	102,1 $\pm$ 11,4	164,2 $\pm$ 16,1	95,7 $\pm$ 20,4	42,1	68,5
1.4	4	141,3 $\pm$ 15,5	117,5 $\pm$ 23,9	176,5 $\pm$ 40,4	96,3 $\pm$ 6,3	23,8	80,2
1.5	3	158,3 $\pm$ 27,5	111,6 $\pm$ 7,6	185,0 $\pm$ 52,5	101,6 $\pm$ 7,6	46,7	83,4
2.	4	113,7 $\pm$ 13,1	112,5 $\pm$ 20,2	141,2 $\pm$ 17,9	100,0 $\pm$ 17,8	1,2	41,2
3.1	9	144,4 $\pm$ 15,1	136,1 $\pm$ 15,5	175,0 $\pm$ 21,9	116,6 $\pm$ 21,2	8,3	58,4
3.2	3	130,0 $\pm$ 10,0	123,3 $\pm$ 7,6	166,6 $\pm$ 12,5	116,6 $\pm$ 5,7	6,7	50,0
4	20	123,0 $\pm$ 14,3	122,2 $\pm$ 17,8	160,2 $\pm$ 24,4	107,0 $\pm$ 16,2	0,8	53,2

Tab. 18: Darstellung des sys. Blutdruckes am re. Arm in Ruhe vor Belastung sowie in der

1. Minute nach Belastung; gleiches gilt auch für den Blutdruck am Bein, der

allerdings im Gegensatz zur Messung am Arm (Anaeroidmanometer) mit einem

Dopplergerät gemessen wurde. Die beiden letzten Spalten zeigen die Δp -Werte

vor und in der 1. Min. nach Belastung in den einzelnen Gruppen

Unter zunehmender Belastung steigt an den Armen der systolische Blutdruck in allen Gruppen an, während die direkt nach Belastung ermittelten systolischen Blutdruckwerte der unteren Extremität in allen Gruppen abfallende Tendenzen aufweisen. Daher nehmen die Blutdruckdifferenzen zwischen oberen und unteren Extremitäten unter Belastung bei allen Patienten und Probanden bzw. in allen Untersuchungsgruppen zu, das heißt, die "Blutdruckschere" klapft bei zunehmender körperlicher Beanspruchung weiter auseinander (Abb. 31).

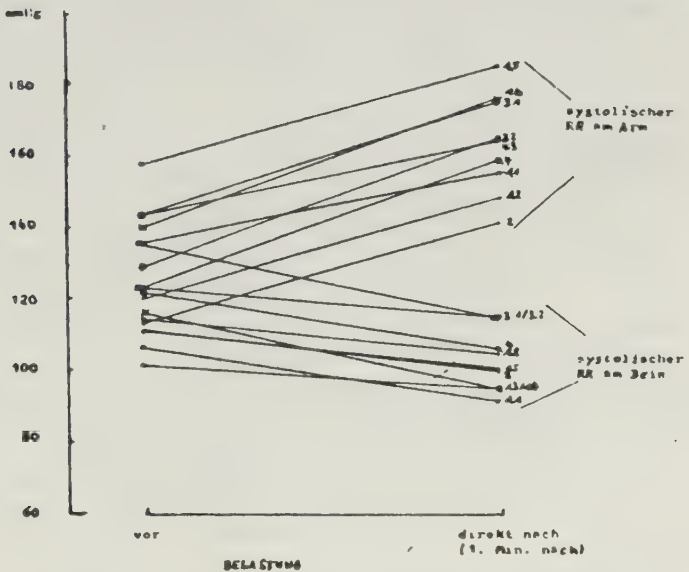


Abb. 31: Darstellung des unter Belastung ansteigenden systolischen Blutdruckes an der oberen Extremität bei gleichzeitigem Abfall desselben an der unteren Extremität.

5.2.7 Blutdruckdifferenzen zwischen linkem und rechtem Arm

Bei den Untersuchungen fiel auf, daß zwischen rechtem und linkem Arm ein- und derselben Patienten bei indirekten, simultan durchgeführten Blutdruckmessungen systolische Blutdruckunterschiede von ≥ 10 mmHg auftraten. Bei den Probanden der Gruppe 2, den stabilen und labilen essentiellen Hypertonikern der Gruppe 3.1 und 3.2 sowie bei den Handballspielern der Gruppe 4 lag dieser Anteil bei 20 - 32 %, bei den CoA-Patienten zwischen 33 und 69 % (Tab. 19).

Gruppe	n ges.	n	P RR ≥ 10 mmHg
1.1	25	12	(48 %)
1.2	24	8	(33 %)
1.3	13	9	(69 %)
1.4	15	5	(33 %)
2	30	7	(23 %)
3.1	22	7	(32 %)
3.2	10	2	(20 %)
4	20	6	(30 %)

Tab. 19: Prozentuale Verteilung der Patienten/Probanden in den einzelnen Gruppen mit systolischen RR-Differenzen zwischen beiden Armen ≥ 10 mmHg

Größere Blutdruckdifferenzen wiesen die Patienten der Gruppen 1.1 (CoA präop.) und 1.3 (CoA postop. mit Re-CoA und Hypertonie) auf. Dies war zu erwarten, zumal bei Patienten mit einer prä- oder postoperativen Coartation der Aorta die Stenose entweder proximal oder distal des Abganges der linken Arteria subclavia gelegen ist oder aber die rechte Arteria subclavia als Arteria lusoria distal der Coartation ihren Ursprung nehmen kann (Abb. 32).

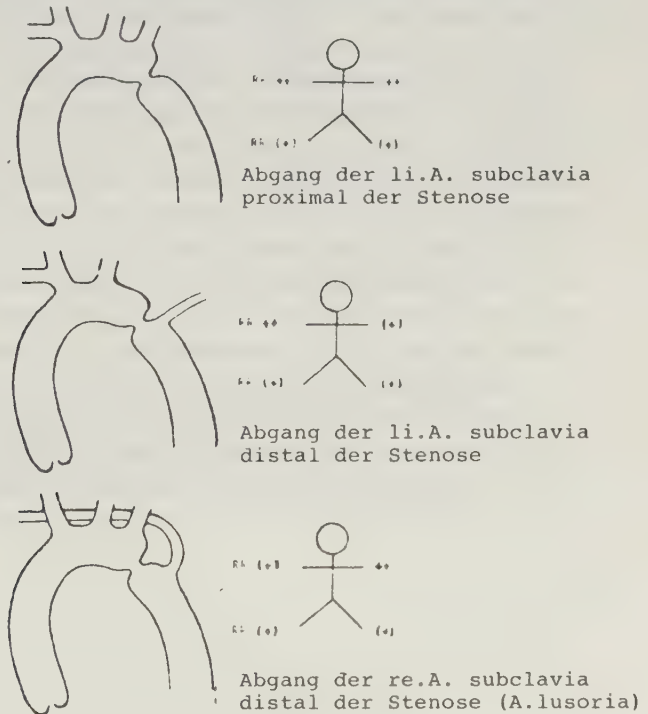


Abb. 32: Blutdruck- und Pulsverhalten bei Aortenisthmusstenose mit unterschiedlichem Ursprung der linken und rechten Arteria subclavia nach SCHUMACHER et al. 1984

5.2.8 Blutdruckverhalten unter medikamentöser Behandlung

Bei den Patienten mit Re-CoA und Hypertonie oder Hypertonie ohne nachweisbare Re-CoA und zusätzlicher antihypertensiver Therapie (Gruppe 1.5) lagen die systolischen und die diastolischen Ruhe-Ausgangswerte vor der medikamentösen Behandlung um durchschnittlich 10 mmHg höher als die während medikamentöser Therapie (Tab. 20). Bei ansteigender Belastung entwickelten die Patienten vor antihypertensiver Therapie einen maximalen systolischen Blutdruckwert von 205,5 mmHg, der auch in der Ruhephase nach Belastung nur sehr zögernd wieder absank und in der 3. Minute nach Belastung noch um ca. 18 mmHg über seinem Ausgangswert vor Belastung lag.

Unter der Therapie mit Antihypertinika (β -Blockern) stieg der systolische Blutdruck derselben Patienten bei zunehmender Belastung in wesentlich geringerem Ausmaß an. Er erreichte in der 3. Belastungsstufe mit systolisch 171,6 mmHg einen für diese Belastung und diesen Altersbereich (15 Jahre) annähernd normalen Blutdruckwert. In der 3. Minute nach Belastung lag der systolische Blutdruck noch bei 140 mmHg und damit nur 6 mmHg oberhalb seines Ausgangswertes vor Belastung.

Der diastolische Blutdruck sank unter medikamentöser Therapie unter Ruhebedingungen um durchschnittlich 10 mmHg ab, während wir unter Belastungsbedingungen keine blutdrucksenkende Wirkung durch die genannten Medikamente nachweisen konnten.

	Ruhe vor Belastung	ergometr. Bel. mit 1 2 3 Watt/kg Körpergewicht			Ruhe nach Belastung (3. Min.)
syst. RR (mmHg)	144,1	166,1	184,7	205,5	162,5
vor med. Th.	+15,2	+16,6	+20,9	+27,3	+25,9
syst. RR (mmHg)	134,2	147,8	165,8	171,6	140,0
währ.med. Th.	+15,9	+13,8	+25,3	+25,6	+26,5
dia. RR (mmHg)	84,0	84,7	77,1	75,0	68,3
vor med. Th.	+11,3	+ 9,5	+15,7	+23,4	+13,1
dia. RR (mmHg)	74,2	77,8	85,0	80,0	69,2
währ.med. Th.	+12,6	+18,2	+18,2	+18,2	+17,2

Tab. 20: Mittelwerte und Standardabweichungen des systolischen und des diastolischen Blutdruckes in Ruhe liegend, während ergometrischer Belastung und in der 3. Minute der Erholungsphase vor und während einer medikamentösen Hochdruckbehandlung (mit Solgol, Dociton, Lanolox und Tenormin) bei Patienten mit R + H oder H $\emptyset$ R post CoA-Op. (n = 7), mittleres Alter = 15 Jahre

6. Diskussion

6.1. Wertigkeit der indirekten und direkten Blutdruckmessungen unter Ruhebedingungen und während Ergometrie

Nach ANSCHÜTZ (1970) stimmen die Ergebnisse der indirekten Blutdruckmessungen bei exakter Durchführung der auskultatorischen Methode unter Ruhebedingungen recht genau mit intraarteriell gemessenen Werten überein. Auch bei niedrigen Belastungen, das heißt bei ca. 100 - 130 Watt, ist seiner Ansicht nach der systolische Fehler sehr gering (bis etwa ± 3 mmHg), während die peripheren indirekten systolischen Werte bei starker körperlicher Belastung oberhalb von ca. 160 Watt mit Sicherheit um 5 - 10 mmHg überhöht angegeben werden.

Die systolischen Druckwerte liegen sowohl bei Gesunden (ROWELL et al. 1968, MENDLER 1983) als auch bei Patienten mit Aortenisthmusstenose (CUMMING und MIR 1970) in Ruhe um im Mittel 15 - 20 mmHg und unter maximaler ergometrischer Belastung um 25 - 30 mmHg über dem Niveau des Zentraldruckes in der Aorta ascendens.

Im diastolischen Bereich weichen bei niedriger Belastung die indirekten Werte nur geringfügig von den intraarteriellen Werten ab, sind aber noch immer zu niedrig (ANSCHÜTZ 1970). Unter starker Belastung ist der auskultatorisch ermittelte diastolische Druckwert nicht verwertbar, da bei höherer Blutgeschwindigkeit Arterientöne auch ohne Kompression über der Kubitalarterie hörbar sind, so daß man eigentlich den Druck "0" ablesen müßte, während der intraarterielle diastolische Druck davon nicht beeinflusst wird (ANSCHÜTZ 1970). Als ursächlich für diesen diastolischen Druckabfall unter Belastung bei indirekter Meßmethodik wird eine Abnahme der Wandspannung und eine Zunahme der

Strömungsgeschwindigkeit angesehen. Hier könnte auch die schwierige Differenzierung zwischen KOROTKOFF IV und V unter Belastung eine Rolle spielen.

Auch KARLEFORS et al. (1966) bestätigte, daß die indirekten diastolischen Drucke unter maximaler Belastung mit Abweichungen von 10 - 20 mmHg regelmäßig zu niedrig gemessen werden und daher nicht verwertbar sind.

Nach MATTHES et al. (1978) ergeben sich beim Vergleich indirekter und direkter systolischer Blutdruckwerte bei Belastung keine statistisch signifikanten Blutdruckunterschiede. Bei den diastolischen Blutdruckwerten zeigten sich nach seinen Untersuchungen nur unter maximaler Belastung statistisch signifikante RR-Differenzen zwischen beiden Methoden (Abb. 33).

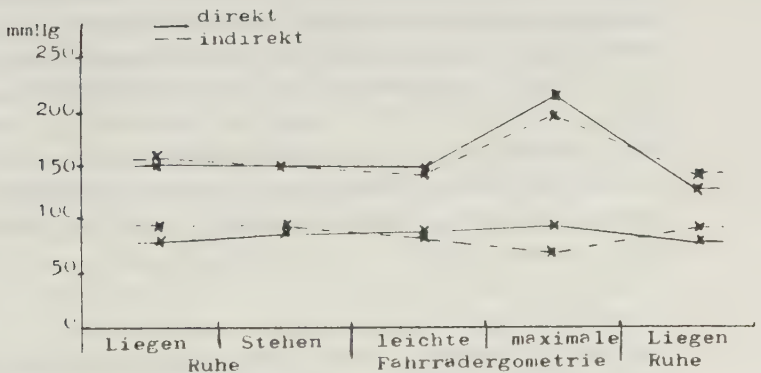


Abb. 33: Direkte und indirekte systolische und diastolische Blutdruckmessung in Ruhe, während und nach ergometrischer Belastung (n = 39). Im systolischen Bereich ist zwischen beiden Methoden kein statistisch signifikanter Unterschied nachweisbar. In Ruhe vor Belastung wird in liegender Position der diastolische RR signifikant zu hoch gemessen, während im Stehen und bei leichter Belastung die Werte weitgehend identisch sind. Bei maximaler Belastung werden die indirekten diastolischen Werte signifikant zu niedrig angegeben.
aus: MATTHES et al. (1978)

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen stimmen weitgehend mit denen von ANSCHÜTZ (1970) überein, denn die errechneten Korrelationskoeffizienten von 0,895 bis 0,975 sprechen eindeutig für eine fast völlige Übereinstimmung der direkt und indirekt unter Ruhebedingungen ermittelten systolischen Blutdruckwerte. Bei ansteigender Belastung zeigten auch unsere Messungen, daß die indirekt gewonnenen systolischen Blutdruckwerte von den tatsächlichen intraarteriellen Meßdaten zusehends abwichen. Der dabei gefundene Korrelationskoeffizient von $r = 0,76$ ist dennoch ein Zeichen ausreichend guter Übereinstimmungen.

Auch weitere Angaben in der Literatur bestätigen, daß nicht nur die indirekt gemessenen Blutdruckwerte in Ruhe (SHEPPARD et al. 1971, KUHN et al. 1979, PETERS und SCHÖBER 1982, PILOSOFF et al. 1985), sondern auch die nicht-invasiv gemessenen systolischen Blutdruckwerte während fahrradergometrischer Belastung sehr gut mit den direkten, invasiv registrierten Blutdruckwerten korrelieren (NAGLE et al. 1966, KLEINHANSS et al. 1971, SHEPPARD et al. 1971, ROST und HOLLMANN 1977). Damit ist auch bei indirekter Blutdruckmessung während Fahrradergometrie ein zuverlässiges Ergebnis gewährleistet (MELLEROWICZ 1979, JAMES et al. 1980, FRANZ und LOHMANN 1982, NIEDERBERGER 1982).

Die direkte invasive Blutdruckmessung sollte daher auf wenige spezielle Fälle beschränkt bleiben, bei denen es auf sehr geringe Blutdruckschwankungen ankommt oder der Blutdruck beispielsweise über längere Zeitabschnitte kontinuierlich überwacht und registriert werden muß (MATTHES et al. 1978).

6.2. Bewertung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch eine fahrradergometrische Belastungsuntersuchung

Obwohl die Anzahl der auf dem Fahrradergometer absolvierten Belastungsstufen keinen allgemeinen leistungsmedizinischen Anforderungen entsprechen, kann diese dennoch - unter Berücksichtigung von Motivation und Kooperationsbereitschaft der Probanden bzw. Patienten - als grober Maßstab der körperlichen Leistungsfähigkeit betrachtet werden (BRIEDIGKEIT und TITTMANN 1982). Ihrer Ansicht nach besteht bei Gesunden eine "normale körperliche Leistungsfähigkeit", wenn alle 3 Belastungsstufen (bis maximal 3 Watt/kg KG) erreicht werden. Wird allerdings im Verlauf der 3. Belastungsstufe abgebrochen, so ist die Belastbarkeit geringfügig bzw. bei Abbruch in der 2. Belastungsstufe mittelgradig eingeschränkt. Sollte ein Abbruch bereits in der 1. Belastungsstufe notwendig sein, so entspricht das einer hochgradigen körperlichen Leistungsbeeinträchtigung.

Es fällt auf, daß die Handballspieler der Gruppe 4 mit einem Anteil von 95 % an der 3. Belastungsstufe im Gruppenvergleich am besten abschneiden. Dies ist allerdings aufgrund des bereits seit dem frühen Schulalter durchgeführten und zum Teil sehr harten Training nicht verwunderlich. In allen acht übrigen Gruppen liegt der Anteil derjenigen Jungen und Mädchen, die sogar die 3. Belastungsstufe voll absolvierten, zwischen 68,0 und 92,3 %. Selbst einige Gruppen der CoA-Patienten und der essentiellen Hypertoniker zeigten sich, was die Anzahl der erreichten Wattstufen angeht, den normotonen Probanden der Gruppe 2 nicht unterlegen.

Betrachtet man innerhalb der ersten acht Gruppen die erbrachten Leistungen der Jungen und der Mädchen getrennt,

so waren es in der Mehrzahl der Gruppen die Jungen, die in einem höheren Prozentsatz als die Mädchen die 3. Belastungsstufe erreichten. Ausnahmen bilden hier die Jungen der Gruppen 1.1 (CoA-präop.), 1.2 (CoA-postop.-N) und 1.5 (CoA postop. mit H + R oder HØR und med. Therapie). Das etwas schlechtere Abschneiden der Mädchen läßt sich durch den günstigeren Quotienten von Muskelmasse zum Körpergesamtgewicht bei den Jungen erklären.

Bei unseren Untersuchungen erreichten die Jungen und Mädchen aller Gruppen nie geschlossen bzw. einheitlich die 3. Belastungsstufe. Einschränkend muß jedoch gesagt werden, daß wir nur eine "submaximale" Belastung forderten und gelegentlich bei einem Herzfrequenzanstieg von über 170 Schlägen/Minute die Belastung abbrachen. Darüber hinaus bestanden unsere Patienten größtenteils aus essentiellen Hypertonikern oder aus Patienten mit einer Coarctation der Aorta, während BRIEDIGKEIT und TITTMANN (1982) für eine "normale Leistungsfähigkeit" bei 3 Watt/kg Körpergewicht wohl von "gesunden" Untersuchungsgruppen ausgingen.

Der Verlauf der Herzfrequenz unter ergometrischen Bedingungen wird ebenfalls oft als Kriterium für die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit herangezogen. Die Leistungsbreite des Herz-Kreislauf-Systems wird anhand des Leistungspulsverhaltens ermittelt, was im allgemeinen Rückschlüsse auf den Trainingszustand der Testpersonen zuläßt (LEUPOLD 1973, MELLEROWICZ 1979).

Zwar zeigten die neun Untersuchungsgruppen alle signifikante Differenzen in den Herzfrequenzen der 5. Minute

vor Belastung zu denen bei maximaler Ergometrie, doch die Frequenzzunahme von der 1. bis zur 3. Belastungsstufe fiel im Gruppenvergleich ohne signifikante Unterschiede aus. Selbst bei den Handballspielern der Gruppe 4 konnten wir die oben beschriebene geringere Herzfrequenzzunahme unter ansteigender Belastung im Vergleich zu einer Probandengruppe nicht feststellen.

6.3 Sicherung der Diagnose eines arteriellen Hypertonus und Beurteilung seines Schweregrades

Da der Blutdruck als variable Größe zum Teil sehr großen Schwankungen in Ruhe unterliegt, wird einem einmalig erhöht gemessenen Ruhe-Blutdruckwert oft keinerlei pathologische Bedeutung beigemessen. Dies trifft besonders für Hypertoniker zu, da hier die Blutdruckvariabilität besonders ausgeprägt ist (KRÖNIG 1982).

Unter Ergometrie kann man jedoch signifikante Unterschiede im systolischen Blutdruckverhalten zwischen den stabilen und labilen essentiellen Hypertonikern sowie den Probanden (Kontrollgruppe) feststellen (Abb. 34). Bei der Gruppe 3.2 (labile essentielle Hypertoniker) liegen im systolischen Bereich sowohl der Blutdruckausgangswert als auch die Blutdruckwerte bei steigender Belastung und danach recht genau zwischen denen der stabilen essentiellen Hypertoniker und der Probanden (Kontrollgruppe).

Im diastolischen Bereich unterscheidet sich der Blutdruckverlauf der stabilen essentiellen Hypertoniker ebenfalls hochsignifikant ($p < 0,01$) von denen der beiden übrigen Gruppen; letztere lassen sich nicht signifikant voneinander abgrenzen.

Die stabilen essentiellen Hypertoniker der Gruppe 3.1 lagen demnach unter Ruhe- und unter Belastungsbedingungen in einem hochsignifikant pathologisch erhöhtem systolischen und diastolischen Blutdruckbereich. Die labilen essentiellen Hypertoniker der Gruppe 3.2 wiesen dagegen im Vergleich zu den stabilen essentiellen Hypertonikern bei normalen systolischen Ruhewerten unter steigender ergometrischer Belastung grenzwertige Belastungsblutdruckwerte auf. Ihre diastolischen Werte waren mit denen der Probanden (Gruppe 2) fast völlig identisch.

Auf dem Fahrradergometer zeigt sich so deutlich der Schweregrad einer Hypertonie selbst bei Kindern und bei Jugendlichen, bei denen Ruhemessungen meist keinerlei diagnostische und/oder therapeutische Konsequenzen erbringen.

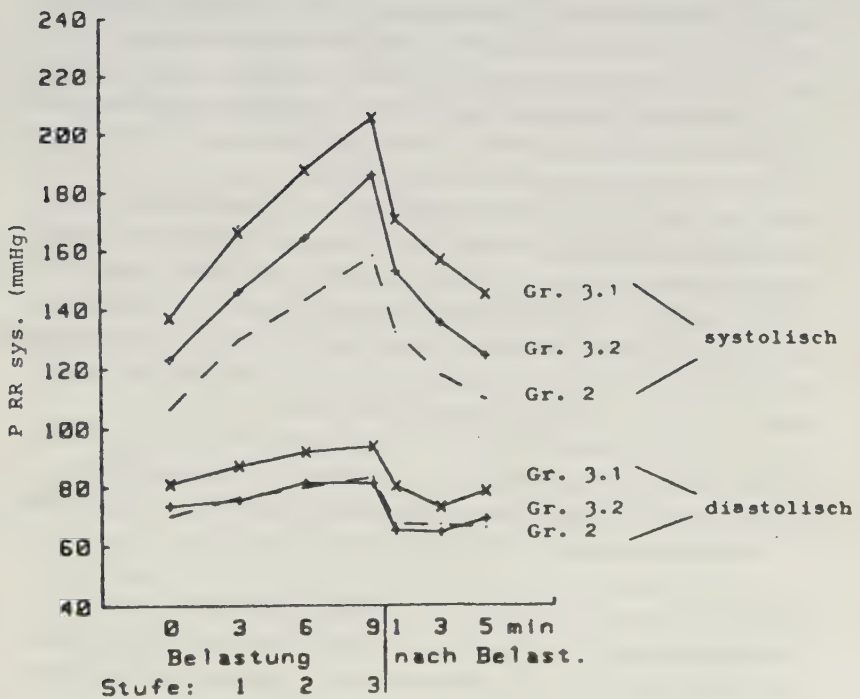


Abb. 34: Systolisches und diastolisches Blutdruckverhalten vor, während und nach ergometrischer Belastung bei stabilen/labilen essentiellen Hypotonikern (Gruppe 3.1, 3.2) sowie bei den normotonen Probanden (Gruppe 2)

6.4. Differentialdiagnose; essentielle Hypertonie/ sekundäre Hypertonie mit Hilfe der Ergometrie

Die systolischen Ruheausgangswerte der Patienten mit einer Aortenisthmusstenose (Gruppe 1.1) und die der stabilen essentiellen Hypertoniker (Gruppe 3.1) sind mit 136,4 und 137,1 mmHg beinahe als identisch zu bezeichnen. Unter zunehmender Belastung erkennt man in beiden Gruppen einen kontinuierlichen und stetigen systolischen Blutdruckanstieg bis auf Maximalwerte von 199,4 mmHg (Gruppe 1.1) bzw. 206,1 mmHg (Gruppe 3.1). Dabei sind weder die Absolutwerte noch die Anstiegswinkel beider Gruppen unter Belastung signifikant unterschiedlich; entsprechendes gilt ebenso für die Erholungsphase nach Belastung.

Auch im diastolischen Bereich sind die Ausgangswerte vor Belastung nicht signifikant verschieden und unter fahrrad-ergometrischer Belastung wird die ohnehin kleine anfängliche Differenz noch geringer. Erst in der 5. Minute nach Belastung konnten wir bei diastolischen Werten von 88,6 mmHg (Gruppe 1.1) und 78,6 mmHg (Gruppe 3.1) eine statistisch signifikante Differenz feststellen (Abb. 35).

Somit ist es nicht möglich, eine primäre essentielle Hypertonie von einer sekundären Form - hier als Folge einer Coarctation - mittels fahrradergometrischer Untersuchungen differentialdiagnostisch abzugrenzen.

Damit bestätigt sich, daß der systolische Druck, der bei Gesunden während körperlicher Belastung unter Zunahme des Herzminutenvolumens und Abnahme des Widerstandes im großen Kreislauf annähernd linear ansteigt (KÖNIG et al. 1961, RUTENFRANZ et al. 1961, LUND-JOHANSEN 1967, REINDELL et al. 1967, SELIGER und BARTUNEK 1976, BRIEDIGKEIT und TITTMANN 1979, 1982, JUST und STRAUER 1980, FRANZ 1981, FRANZ und MELLEROWICZ 1982, NIEDERBERGER 1982) auch bei Patienten mit essentieller Hypertonie - allerdings unter geringerer Zunahme des Herzminutenvolumens (SANNERSTEDT 1966, 1971)

und dafür mehr durch Einschränkung der Gefäßweitstellung (SANNERSTEDT 1966, AMERY et al. 1967, LUND-JOHANSEN 1967) - durch Arteriolenwandverdickung (FOLKOW 1975) sowie eine verminderte Sensitivität des Baroreflexes hochpathologisch zunimmt.

Dieser systolische Druckanstieg entspricht - allerdings von einem höheren Ruhewert ausgehend - etwa dem der Normotoniker, so daß der in Ruhe bestehende Unterschied während einer fahrradergometrischen Belastung, zumindest bis zum 40. Lebensjahr (JULIUS et al. 1967, HOLLMANN et al. 1970) weitgehend erhalten bleibt (LUND-JOHANSEN 1967, FRANZ 1979, 1982, MAIDORN 1979, FRANZ und LOHMANN 1982, FRANZ und MELLEROWICZ 1982, SCHULTE et al. 1983). Nahezu identisch ist der Blutdruckverlauf bei unseren Patienten mit Aortenisthmusstenose präoperativ oder aber postoperativ mit wirksamer Re- oder Reststenose und bei den Patienten mit postoperativ persistierender arterieller Hypertonie ohne Re-Stenose (Abb. 36).

Entscheidend für das Ausmaß des pathologischen Blutdruckanstieges sind dabei die Ruheausgangswerte vor fahrradergometrischer Belastung, die in unserem Patientengut sowohl bei den stabilen essentiellen Hypertonikern als auch bei den Patienten mit Aortenisthmusstenose präoperativ auf nahezu gleichem Niveau lagen, sich dagegen von den herzgesunden Probanden sowohl im Ausgangswert als auch im maximalen Belastungswert signifikant unterscheiden (Abb. 35).

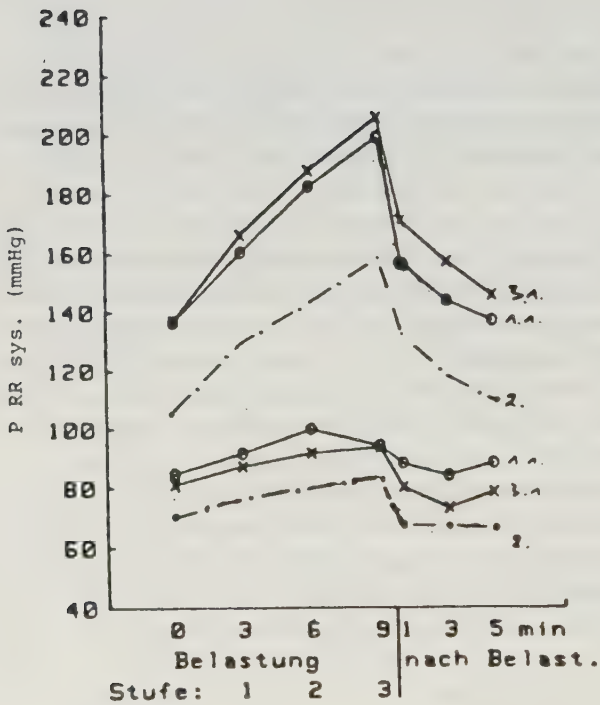


Abb. 35: Blutdruckverlaufskurven der Gruppe 1.1 (Patienten mit einer Aortenisthmusstenose präoperativ) und Gruppe 3.1 (Patienten mit stabiler essentieller Hypertonie) im Vergleich zur Kontrollgruppe 2, den Herzgesunden

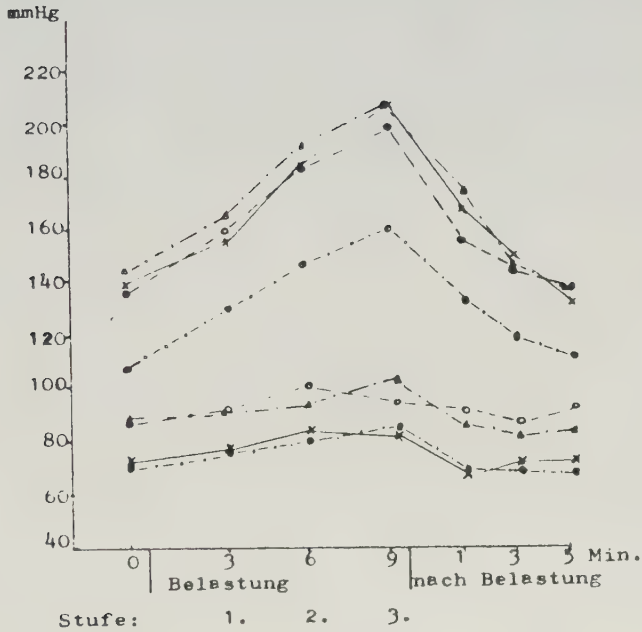


Abb. 36: Systolischer und diastolischer Blutdruckverlauf unter Ergometrie bei Patienten mit CoA präop. (0-0), CoA postop. mit Re-CoA und Hypertonia (x-x), CoA postop. mit persistierender Hypertonia ohne Re-CoA (▲-▲) und bei den Probanden (o-o).

6.5 Operationsindikation bei Patienten mit Aortenisthmusstenose

Alle unsere Patienten mit einer operationswürdigen Aortenisthmusstenose zeigten unter fahrradergometrischer Belastung mit 2 Watt pro kg Körpergewicht einen hochpathologischen Anstieg ihres systolischen Blutdrucks im Bereich der oberen Körperhälfte. Damit kann das Blutdruckverhalten unter Ergometrie als wichtiges Kriterium für die Klärung der Operationsindikation gewertet werden. Dies gilt vor allem für Patienten mit grenzwertigem Ruheblutdruck, mäßiggradiger Aortenisthmusstenose oder aber höhergradiger Stenose, jedoch sehr gut ausgebildetem Kollateralkreislauf und damit einem systolischen Druckgradienten zwischen Arm und Bein um 20 mmHg. Reagieren sie mit einem pathologischen Belastungsblutdruck, begründet bzw. unterstreicht dies die Notwendigkeit einer operativen Therapie, da man nach dem Ergebnis der fahrradergometrischen Belastung annehmen kann, daß diese Patienten auch unter alltäglicher körperlicher und psychischer Belastung hypertensiv reagieren und damit ihr Gefäßsystem unphysiologischerweise kontinuierlich durch einen zu hohen arteriellen Druck belastet wird. Auch bei Patienten mit einer grenzwertigen Re- oder Reststenose nach Operation einer Aortenisthmusstenose kann die Indikation zur erneuten invasiven diagnostischen Abklärung bzw. zur Re-Operation durch eine Belastungsuntersuchung mit Blutdruckmessung geklärt werden.

6.6 Systolischer Druckgradient zwischen oberer und unterer Körperhälfte unter Ergometrie

Ein unter fahrradergometrischer Belastung ansteigender systolischer Druckgradient zwischen der oberen und unteren Körperhälfte konnte im eigenen Krankengut durch Ausbleiben eines adäquaten systolischen Blutdruckanstiegs im Bereich der unteren Körperhälfte nicht nur bei Patienten vor und nach Operation einer Aortenisthmusstenose, sondern ebenso bei Patienten mit essentieller Hypertonie und auch - allerdings geringer wegen des insgesamt niedrigeren Blutdruckniveaus - bei gesunden Probanden nachgewiesen werden. Nach den Erfahrungen von EARLEY et al. (1980) betrug der Mittelwert des systolischen Blutdruckanstiegs am Arm unter Belastung mit 2 Watt/kg KG bei Kindern mit einer Aortenisthmusstenose 25 mmHg und bei normotonen Kontrollpersonen 21 mmHg. Diese Differenz war jedoch nicht signifikant und daher konnte man die Schlußfolgerung ziehen, daß die Anwesenheit einer bereits unter Ruhebedingungen bestehenden Hypertonie keinen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Blutdruckantwort unter Belastung ausübte.

ASTRAND et al. (1965) fanden bei Gesunden ebenfalls einen nur geringen systolischen Druckanstieg am Bein direkt nach ergometrischer Belastung. Sie führten dies auf einen stärkeren Abfall des peripheren Widerstandes im Bereich der unteren Körperhälfte bzw. in der verstärkt beanspruchten Muskulatur zurück, der von einer Umverteilung des Blutflusses von den ruhenden Armen zu den arbeitenden Beinen durch eine zentral und peripher ausgelöste nutritive Arteriolenerweiterung begleitet ist.

ROSENBERG et al. (1983) registrierten bei 12 Patienten nach Operation einer Aortenisthmusstenose unmittelbar nach ergometrischer Belastung mit Hilfe der Doppler-Technik systolische Druckgradienten zwischen 60 und 120 mmHg. In Ruhe lag der Druckgradient dieser Patienten unter 20 mmHg. Eine anschließend durchgeführte invasive Druckmessung in der Aorta aszendens und deszendens bei 5 Patienten konnte in keinem Fall einen systolischen Druckgradienten von mehr als 10 mmHg über die Anastomose nachweisen. Angiographisch lag der Durchmesser der Aorta im Isthmusbereich zwischen 83 und 100 % des Aortendurchmessers in Zwerchfellhöhe, womit ein sehr gutes Operationsergebnis bestätigt wurde.

Da ein drastischer systolischer Druckabfall nach Abschluß der 3. Belastungsstufe bis zur Messung des Druckes am Bein - je nach verstrichener Zeitdauer - in Erwägung zu ziehen ist, liegt die Vermutung nahe, daß es sich teilweise bei obigen Messungen um falsche zu niedrige systolische Blutdruckwerte handelt.

Dieser Einwand von EARLEY et al. (1980) mag durchaus berechtigt sein, zumal auch die Untersuchungen von GOLDFREY (1974), HARRISON (1960) und SANNERSTEDT (1966) zu dem Schluß kamen, daß der Blutdruck am Bein sofort abfällt, sobald die Belastung abgebrochen wird.

Wir führten daher, wie auch CONNOR (1979), sofort nach Belastung die indirekte systolische RR-Messung an den Beinen stets vor denen an den Armen aus, um so den Blutdruckgradienten zwischen oberer und unterer Extremität eher etwas geringer als zu hoch - bedingt durch einen RR-Abfall bis zum Zeitpunkt der Messung am Bein - einzu-

schätzen. Auf diese Weise konnten wir die Meßfehler, die sich durch die Zeitversetzung der zwei aufeinanderfolgenden Blutdruckmessungen zwangsläufig ergaben, sehr gering halten.

Bei Patienten mit postoperativer Aortenisthmusstenose stiegen auch bei invasiven Druckmessungen die Blutdruckwerte in der Arteria femoralis nicht linear mit denen in der Artetia brachialis oder Arteria radialis gemessenen Werten an (IKKOS et al. 1959, HANSON et al. 1980), so daß auch bei dieser invasiven Untersuchungstechnik der systolische Druckgradient zwischen oberer und unterer Körperhälfte unter Belastung zunahm.

Da in allen neun Untersuchungsgruppen kein signifikanter systolischer RR-Anstieg am Bein unter zunehmender Belastung festgestellt werden konnte, waren somit die ansteigenden Blutdruckgradienten zwischen oberer und unterer Körperhälfte als Entscheidungshilfe für oder gegen eine Operationsindikation bei Patienten mit einer CoA präoperativ bzw. postoperativ bei Verdacht auf Re- oder Rest-Stenose nicht verwertbar.

6.7 Beurteilung der Operationsergebnisse

Zur Beurteilung des Ergebnisses nach Operation einer Aortenisthmusstenose ist nicht nur die Kenntnis des Blutdrucks am Arm und des systolischen Druckgradienten zwischen Arm und Bein in Ruhe, sondern auch des Blutdrucks unter Belastung von großer Bedeutung. Dies bestätigt sich aus der Analyse des individuellen Blutdruckverhaltens der eigenen Patienten unter submaximaler Belastung. Bei Unterteilung des Patientengutes in einzelne Untersuchungsgruppen entsprechend der postoperativen Hämodynamik zeigte sich, daß nicht nur die Patienten mit wirksamer Re- oder Rest-Stenose nach Operation der Aortenisthmusstenose und die Patienten mit postoperativ persistierender arterieller Hypertonie ohne Re-Stenose in allen Fällen, sondern auch knapp mehr als die Hälfte der Patienten mit postoperativ normalen oder grenzwertigen Ruhe-Blutdruckwerten wider Erwarten einen pathologischen Blutdruckanstieg unter Belastung aufwiesen und damit ebenso "belastungspositiv" reagierten. Die getrennte Datenauswertung der Patienten mit postoperativ normalem Ruhe-Blutdruck ermöglicht damit die Erfassung derer, welche unter Belastung hypertensiv reagieren, obwohl sie scheinbar erfolgreich operiert worden sind. Gleichzeitig ist sie ein wichtiges Argument zur engmaschigen Blutdruckkontrolle und gegebenenfalls zur medikamentösen Behandlung dieser Patienten, von denen man nach den Erfahrungen mit Patienten mit labilem essentiellen Hypertonus bzw. mit einer Grenzwerthypertonie annehmen muß, daß auch sie später eine manifeste Hypertonie entwickeln und damit mit einem hohen kardiovaskulären Risiko behaftet sind.

Gleichzeitig bestätigen diese Untersuchungsergebnisse, daß die Höhe des Ruhe-Blutdrucks keinen Rückschluß auf das Blutdruckverhalten während alltäglichen Belastungen erlaubt (FRANZ 1979, 1981, EARLEY 1980, HANSON et al. 1980, FRANZ und LOHMANN 1982). Der Belastungs-Blutdruck unter Ergometrie entspricht eher dem Blutdruck unter Alltagsbedingungen und ist damit ein realistischer Gradmesser für die Gefährdung des Patienten durch seinen latenten Hypertonus, zumal die Folgeerscheinungen der arteriellen Hypertonie wohl im wesentlichen durch täglich wiederkehrende Belastungsreaktionen und nicht allein durch die Höhe des Ruhe-Blutdrucks geprägt werden (TAYLOR 1975, KRÖNIG 1976, MILLAR CRAEG und RAFFERY 1978, FRANZ 1979, 1981, EARLEY et al. 1980, NEREM und CORNHILL 1980). Als Konsequenz unserer Untersuchungsergebnisse empfiehlt sich daher neben regelmäßigen ambulanten Kontrolluntersuchungen dieser Patienten nach Operation einer Aortenisthmusstenose in jährlichen Abständen mit Blutdruckmessungen in Ruhe an Armen und Beinen sowie einer sorgfältigen Palpation der peripheren Pulse auch eine Durchführung unter fahrradergometrischer Belastungsuntersuchungen mit Blutdruckmessungen in Abständen von etwa 2 Jahren (FREED et al. 1979, SEHESTED et al. 1983). Durch diese Belastungsuntersuchungen ist es möglich, eine sich entwickelnde arterielle Hypertonie frühzeitig zu erkennen und Patienten mit einem kardiovaskulären Risiko frühzeitiger zu erfassen und gegebenenfalls einer Therapie zuzuführen, zumal es Hinweise gibt, daß der Blutdruck bei diesen Patienten postoperativ selbst nach einer vorübergehenden Normalisierung nach etwa 10 Jahren postoperativ wieder kontinuierlich ansteigt (MARON et al. 1973, SIMON und ZLOTTO 1974, BJÖRK et al. 1978, MENASCHE et al. 1978, CLARKSON et al. 1983). Bei Vorliegen einer Re-Stenose bzw.

einer postoperativ persistierenden arteriellen Hypertonie kann damit die Höhe des Belastungsblutdrucks und vor allem ein kontinuierlicher Anstieg im Verlauf der postoperativen Betreuung erfaßt und damit einmal bei Patienten mit zunehmender Re-Stenose die Indikation zu einer erneuten Herzkatheteruntersuchung bzw. zu einer Re-Operation gestellt und andererseits bei postoperativ persistierender arterieller Hypertonie ohne Re-Stenose die Notwendigkeit einer antihypertensiven Therapie überprüft werden.

6.8 Therapiekontrolle unter Ergometrie

Während einer antihypertensiven Therapie sind neben wiederholten Blutdruckmessungen unter Ruhebedingungen auch RR-Bestimmungen während Belastung von großer Bedeutung, da ein Patient zwar unter einer solchen Behandlung einen gut eingestellten bzw. normalen Ruheblutdruckwert aufweisen und dennoch bei Belastung hypertensiv reagieren kann (FRANZ und LOHMANN 1978).

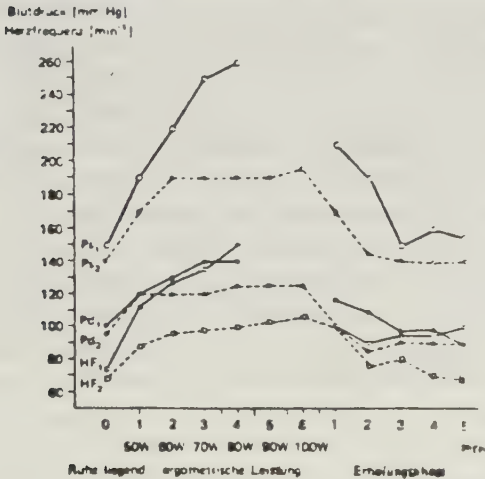


Abb. 37: Verhalten des systolischen (Ps o-o-o) und des diastolischen (Pd ●-●-●) Blutdruckes sowie der Herzfrequenz (HF ▢-▢-▢) eines 41-jährigen Hypertonikers, dessen Ruheblutdruck von 190/110 mmHg mit einer Kombination von Reserpin und Diuretikum auf 150/100 mmHg gesenkt worden war. Die ergometrische Leistung mußte jedoch bei 80 Watt wegen eines Druckes von 260/140 mmHg (ausgezogene Linien) abgebrochen werden. Unter zusätzlicher Gabe eines β -Rezeptorenblockers kam es zu einer deutlichen Senkung der Leistungsblutdrücke (gestrichelte Linien) (nach FRANZ und LOHMANN 1978)

Besonders die früher häufiger angewandten Sympatholytika (Reserpin, α -Methyldopa und Clonidin) zeigten hauptsächlich eine systolische Blutdrucksenkung unter Ruhebedingungen. Anders war dies bei den β -Blockern. So konnten neben FRANZ und LOHMANN (1978) auch DUFEY et al. (1975) sowie JOHNSSON et al. (1969) die gute systolische blutdrucksenkende Wirkung verschiedener β -Blocker (Pindolol, Alprenolol, Propanolol) sowohl unter Ruhe als auch - und das ist viel entscheidender - unter Belastungsbedingungen nachweisen.

Der diastolische RR konnte in den Untersuchungen von FRANZ und LOHMANN nicht in den oberen Normbereich gesenkt werden, wofür ihrer Ansicht nach ein erhöhter peripherer Strömungswiderstand verantwortlich ist. Unsere Ergebnisse sind zwar aufgrund der nur geringen Patientenanzahl ($n = 7$) nicht statistisch beweisend, dennoch läßt sich ein positiver Therapieeffekt nachweisen. Es ist bemerkenswert, daß die von uns angewandten Medikamente (Solgol, Dociton, Lanolox und Tenormin) neben dem systolischen Ruhe-Blutdruck vor allen Dingen auch die hohen Belastungsblutdruckwerte bei 3 Watt/kg KG deutlich zu reduzieren vermochten. Wir können die Feststellung von FRANZ und LOHMANN (1978), daß die durch eine medikamentöse Therapie ausgelöste systolische RR-Senkung um so deutlicher ist, je größer vor der Behandlung die Differenz zwischen systolischen Ruhe- und maximalen systolischen Belastungsblutdruck ist, anhand unserer Ergebnisse bestätigen.

Im diastolischen Bereich konnten wir unter medikamentöser Therapie in Ruhe und bei sehr leichter körperlicher Belastung eine Blutdrucksenkung feststellen, die sich aber bei zunehmender Belastung nicht mehr nachvollziehen ließ.

Die Ergometrie stellt bei der Überwachung und Beurteilung einer medikamentösen antihypertensiven Therapie eine wertvolle Untersuchungsmethode dar, weil durch sie der Nachweis einer deutlichen Blutdrucksenkung sowohl in Ruhe als auch unter Belastungsbedingungen nachvollziehbar ist. Somit kann der Therapieeffekt einzelner Antihypertonika auch unter körperlicher Belastung kontrolliert und damit die Therapieeinstellung überprüft und gegebenenfalls rechtzeitig geändert werden. Dies ist gerade in der postoperativen Gruppe der Hypertoniker ohne Re-CoA von besonderer Bedeutung, da hier die operative Therapie nicht den erwarteten Erfolg brachte und die medikamentöse Therapie in diesen Fällen als einzige Alternative anzusehen ist.

7. Zusammenfassung

Es wurden 169 Kinder und Jugendliche - bestehend aus labilen und stabilen essentiellen Hypertonikern, aus Patienten mit einer prä- bzw. postoperativen Aortenisthmusstenose und zum Vergleich auch herzgesunde untrainierte und trainierte Probanden - unter standardisierten und reproduzierbaren ergometrischen Belastungsbedingungen hinsichtlich unterschiedlicher bzw. gemeinsamer Blutdruckverhaltensweisen untersucht.

Bei einem Vergleich von indirekt und direkt ermittelten Blutdruckwerten erwies sich die indirekte Meßmethodik besonders im systolischen Bereich als sehr zuverlässig und für alltägliche, das heißt für routinemäßige Blutdruckbestimmungen sowohl in Ruhe als auch unter Belastungsbedingungen als hinreichend genau.

Zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit können im allgemeinen die Anzahl der erreichten Wattstufen und das Ausmaß des Herzfrequenzanstieges unter zunehmender Belastung als gute Kriterien angesehen werden.

Unter Ergometrie ist eine sichere Diagnose selbst eines labilen Hypertonus möglich, der unter den sonst üblichen einfachen Ruhemessungen oft nicht erkannt wird und sich so später in einem hohen Prozentsatz in einen stabilen Hypertonus verwandelt.

Aufgrund eines sich nicht signifikant unterscheidenden Blutdruckverlaufes unter Ruhe- und Belastungsbedingungen war es uns nicht möglich, eine primäre essentielle Hypertonie von einer sekundären Form - hier am Beispiel einer Aortenisthmusstenose - differentialdiagnostisch durch die Ergometrie abzugrenzen.

Ein Teil unserer Patienten mit einer Aortenisthmusstenose zeigte jedoch unter ergometrischer Belastung hochpathologisch signifikante systolische Blutdruckanstiege an den Armen, was als wichtiges Kriterium für eine Operationsindikation gewertet werden kann.

Da in keiner unserer neun Untersuchungsgruppen der Blutdruck am Bein während der 3 aufeinanderfolgenden fahrradergometrischen Belastungsphasen zunahm (im Gegensatz zu den Armen) und sich somit die Blutdruckdifferenzen zwischen oberer und unterer Körperhälfte in allen Gruppen entsprechend vergrößerte, schied diese Entscheidungshilfe bei der Beurteilung für oder gegen eine Operationsindikation bei Patienten mit einer prä- oder postoperativen Aortenisthmusstenose aus.

Die Ergometrie hat sich dagegen in der Beurteilung und Überwachung postoperativer CoA-Patienten als sehr vorteilhaft erwiesen, denn sie erfaßt auch solche Patienten, die nach einer Operation einer Aortenisthmusstenose einen normalen Blutdruck unter Ruhebedingungen aufweisen, welche aber unter ergometrischer Belastung - und dies kommt Alltagsbedingungen viel näher - mit unphysiologischen Blutdruckerhöhungen antworten.

Dies unterstreicht die Notwendigkeit regelmäßiger post-operativer ergometrischer Blutdruckkontrollen, so daß bei persistierender oder langsam wiedereinsetzender Hypertonie rechtzeitig entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können, sei es in Form einer Re-Operation oder als medikamentöse antihypertensive Therapie.

Ferner ist die Ergometrie zur Verlaufsbeobachtung und Beurteilung einer medikamentösen antihypertensiven Therapie sehr nützlich und von hoher prognostischer Aussagekraft.

8. Literatur

AL-ESHAIKER. M.H., MELLEROWICZ, H:
Untersuchungen zur Beurteilung des arteriellen Druckes bei
anteigender ergometrischer Leistung
in: Mellerowicz H., Hansen G. (Hrsg.): 2. Internationales
Seminar für Ergometrie, Ergon Berlin (1967), 309

AMERY, A., JULIUS, S., WHITLOCK, L.J., CONWAY, J.:
Influence of hypertension on the hemodynamic reponse to
exercise, Circulation 36 (1967), 231

ANSCHÜTZ, F.:
Über die Zuverlässigkeit der auskultatorisch ermittelten
Blutdruckwerte unter körperlicher Belastung
Fortschr. Med. 88 Jg. (1970), 1391

ASTRAND, P.O., EKBLÖM, B., MESSIN, R., SALTIN, B.,
STENBERG, J.:
Intraarterial blood-pressure during exercise with
different muscle groups,
J. Appl. Physiol. 20 (1965), 253

BACHMANN, H.:
Epidemiologie der Hypertonie im Kindesalter
Mschr. Kinderheilk. 131 (1983), 814

BJÖRK, V.O., BERGDAHL, L., JONASSON, R.:
Coarctation of the aorta. The world's longest follow up,
Adv. Cardiol. 22 (1978), 205

BLUMENTHAL, S., EPPS, R.P., HAEBENICH, R.:
Recomendations of the Task Force on Blood Pressure
control in children
Pediatrics (Supp.) 59 (1977), 797

BOCK, K.D.:

Arterielle Hypertonie

in: Cobet, R., Gutzeit, K., Bock, H.E., Hartmann, F. (Hrsg.),
Klinik der Gegenwart. Urban & Schwarzenberg, München,
Bd. 1, (1967), 269

BOOTH, J.:

A short history of blood pressure measurement

Proc. roy. Soc. Med. Vo. 70 (1977), 793

BRIEDIGKEIT, W., GRYCHTOLIK, H., MANGLUS, F., REINSCH, H.,
TITTMANN, F., WOLF, R., WORMANN, H.:

Blutdruck im Kindesalter

1. Mitteilung: Normotonie - Hypertonie

Untersuchungen an Berliner Schülern

Z. ärztliche Fortbildung 73 (1979), 33

BRIEDIGKEIT, W., MANGLUS, F., REINSCH, H., WOLF, R.,
WORMANN, M.:

Blutdruck im Kindesalter

2. Mitteilung: Untersuchungen über einige blutdruckbeein-
flussende Faktoren

Z. ärztliche Fortbildung 73 (1979) 117

BRIEDIGKEIT, W., TITTMANN, F.:

Blutdruck im Kindesalter

3. Mitteilung: Blutdruckverhalten unter Ergometerbelastung

Z. ärztliche Fortbildung 73 (1979), 236

BRIEDIGKEIT, W., TITTMANN, F., HONIGMANN, G.:

Blutdruck im Kindesalter

4. Mitteilung: Ergometrische Untersuchungen von Kindern
und Jugendlichen mit systolischer Grenzwerthypertonie

Z. ärztliche Fortbildung 73 (1979), 378

BRIEDIGKEIT, W., TITTMANN, F.:

Erfahrungen mit der Fahrradergometrie bei Kindern unter besonderer Berücksichtigung des Belastungsdruckes
Kinderärztliche Praxis 10 (1982), 518

BRODHERR, S., SCHUMACHER, G., SCHREIBER, R., LORENZ, H.P.,
BÜHLMAYER, K.:

Risikofaktor arterielle Hypertonie:
Bereits im Kindesalter erfassen und behandeln!
Herz + Gefäße 2 (1982), 84

CLARKSON, P.M., NICHOLSON, M.R., BARRAT-BOYES, B.B.,
NEUTZE, J.N., WHITLOCK, R.M.:

Results after repair of Coarctation of the aorta
beyond infancy:
A 10 to 28 year follow-up with particular reference
to late systemic hypertension
Amer. J. Cardiol. 51 (1983), 1481

CONNOR, T.M.:

Evaluation of persistent coarctation of aorta
after surgery with blood pressure measurement
and exercise testing
Amer. J. Cardiol. 43 (1979), 74

CUMMING, G. R., MIR, G.H.:

Exercise hemodynamics of coarctation of the aorta.
Acute effects of propranolol
Brit. Heart J. 32 (1970), 365

DUFÉY, K., KRÖNIG, B., FRIES, G., GUNKEL, R., WALTER, U.,
WOLFF, H.P.:

Beeinflussung des Blutdruckprofils Hochdruckkranker
durch Pindolol.
Dtsch.med. Wschr. 100 (1975), 1726

EARLEY, A., JOSEPH, M.C., SHINEBOURNE, E.A., DE SWIET, M.:
Blood pressure and effect of exercise in children before
an after surgical correction of aorta
Brit. Heart J. 44 (1980), 411

FAULHABER, H.D.:

Ein Beitrag zur Bekämpfung der arteriellen Hypertonie
unter besonderer Berücksichtigung der Pharmakotherapie
der Frühstadien bei jugendlichen Hochdruckkranken
Dissert. B., Berlin 1977

FISHMAN, A.P., DICKINSON, W.R.:

Circulation of the Blood;
Men and Ideas 1964, 487

FIXLER, DE, LAIRD, W.P., FITZGERALD, U.:

Hypertension screening in schools: Results of the Dallas
Study Pediatrics 63 (1978), 32

FOLKOW, B.:

Vascular changes in hypertension - review and recent
animal studies,
in: Bergelund, G., L. Hansson, L. Werkö (eds.):
Pathophysiology and management of arterial hypertension,
Lindgren u. Söner AB, Mölndal, 1975, p. 95

FRANZ, I.W., LOHMANN F.W.:

Die Bedeutung der ergometrischen Untersuchung zur
Beurteilung der antihypertensiven Therapie
Dtsch. med. Wschr. 163 (1978), 1478

FRANZ, I.W.:

Untersuchungen über das Blutdruckverhalten während und
nach Ergometrie bei Grenzwerthypertonikern im Vergleich
zu Normalpersonen und Patienten mit stabiler Hypertonie
Z. Kardiol. 68 (1979), 107

FRANZ, I.W.:

Die Antihypertensive Wirksamkeit einer fixen Beta-Rezeptorenblocker-Diuretikum-Kombination auf Ruhe- und Belastungsdruck von essentiellen Hypertonikern
Schweiz. med. Wschr. 110 (1980), 1616

FRANZ, I.W.:

Ergometrische Untersuchungen zur Diagnostik bei arterieller Hypertonie.
in: Franz, I.W.: Belastungsblutdruck bei Hochdruckkranken, Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1981, 77

FRANZ, I.W., MELLEROWICZ, H.:

Methodische und leistungsphysiologische Grundlagen der Ergometrie
Herz 7 (1982), 29

FRANZ, I.W., LOHMANN, F.W.:

Die Bedeutung ergometrischer Untersuchungen bei arterieller Hypertonie
Herz 7 (1982), 156

FRANZ, I.W.:

Vergleichende ergometrische Untersuchungen über die Wirkung von Beta-Rezeptorblockern und Diuretika und deren Kombination auf den Blutdruck und das Doppelprodukt bei Hochdruckkranken
Zschr. Kardiol 71 (1982), 129

FRANZ, I.W.:

Ergometrie zur Diagnostik und Therapiekontrolle der Hypertonie
Cor & Coronarien 8 (1982), 13

FREED, M.D., ROCCINI, A., ROSENTHAL, A., NADES, A.S.,
CASTENADA, A.R.:

Exercise induced hypertension after surgical repair
of coarctation of the aorta

Amer. J. Cardiol. 43 (1979), 253

GOLDFREY, S.:

Exercise testing in children

London: WB Saunders, 1974

GRÜNTZIG, A.:

Die Ultraschall-Doppler-Methode in der angiologischen
Diagnostik

Med. Klin. 70 (1975), 2019

HALES, S.:

Statical Essays: containing haemastatics.

Innys & Manby, London 1733

HALBUBER, N.J., HOFMANN, H.:

Methodik der Fahrradergometrie an der Klinik Höhenscheid
Klinkarzt 1 (1972), 52

HANSON, E., ERIKSSON, B.O., SÖRENSEN, S.E.:

Intra-arterial blood pressures at rest and during
exercise after surgery for coarctation of the aorta,

Europ. J. Cardiol. 11 (1980), 245

HARRISON, E.G., ROTH, G.N., HINES, E.A.:

Bilateral Indirect and Direct Arterial Pressures
Circulation, Volume XXIII, September 1960, 419

HEYDEN, S., BARTEL, A.G., HAMES, C.H., et al.:

Elevated blood pressure levels in adolescents

Evans Country, Georgia, JAMA 209 (1969), 1683

HOLLMANN, W., BARG, W., WEYER, G., HECK, H.:
Der Alterseinfluß auf spiroergometrische Meßgrößen
im submaximalen Arbeitsbereich
Med. Welt 21 (1970), 1280

HOLZGREVE, H.:
Die Frühbehandlung der leichten Hypertonie
Internist 14 (1973), 313

HOLZGREVE, H.:
Häufigkeit, Verlauf und Komplikationen der chronischen
arteriellen Hypertonie
Herz 3 (1978), 229

IKKOS, D., WALLGREN, G., ZETTERQUIST, P.:
Coarctation of the aorta - a postoperative functional
study.
Acta Paediatr. 48 (1959), 353

JAHNECKE, J.:
Risikofaktor Hypertonie
Studienreihe Boehringer, Mannheim 1974

JAMES, F.W., KAPLAN, S., GMECK, C.Z., TSAY, J.Y.,
SANDKER, M.J., SARWAR, C.J.:
Responses of normal children and young adults to
controlled bicycle exercise
Circulation 61 (1980), 902

JOHNSSON, G., DE GUZMAN, M., BERGMAN, H. SANNERSTEDT, R.:
The haemodynamic effects of alprenolol and propranolol
at rest and during exercise in hypertensive patients.
Pharmacol. Clin. 2 (1969), 34

JULIUS, S., AMERY, A. WHITLOCK, L.S., CONWAY, J.:
Influence of age on the hemodynamic response to exercise
Circulation 36 (1967), 222

JULIUS, S., SCHORK, M.A.:

Borderline hypertension - a critical review

J. Chron. Diss. 23 (1971), 723

JULIUS, S., PASCUAL, A.V., SANNERSTEDT, R., MITCHELL, C.:

Relationship between cardiac output and peripheral

resistance in borderline hypertension

Circulation 43 (1971), 382

JUST, H., STRAUER, B.E.:

Zentrale Hämodynamik und Herzfunktion bei Hypertonie.

in: Rosenthal, J. (ed): Arterielle Hypertonie

Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1980, 232

KALLFELZ, H.C., OFFNER, G.:

Arterielle Hypertension im Kindesalter

in: Rosenthal (ed): Arterielle Hypertonie

Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1980, 297

KALTENBACH, M.:

Die Belastungsuntersuchung des Herzkranken,

Boehringer-Mannheim (1974)

KARLEFORS, T.R., NILSEN, R., WESTLING, H.:

On the accuracy of indirect auscultatory blood Pressure measurements during exercise.

Acta med. scand. 180 (1966), 81

KILCOYNE, M.M., RICHTER, R.W., ALSUP, P.A.:

Adolescent hypertension J. Detection and prevalence

Circulation 50 (1974), 758

KLEINHANSS, G., JÜRGELE, S., PASSMANN, S.:

Zum Aussagewert indirekter Blutdruckbestimmungen in Ruhe und bei Kreislaufbelastungen durch Ergometerarbeit.

Z. Kreisl.-Forsch. 60 (1971), 136

KLEPZIG, H., FRISCH, P.:

Belastungsprüfungen an Herz und Kreislauf
Perimed, Erlangen (1981)

KÖHLER, M., LÖSSE, B.:

Simultane Messungen des systolischen Blutdruckes mit
der Ultraschall-Doppler-Technik und der blutigen
Methode an der Arteria radialis des Menschen
Z. Kardiologie 68 (1979), 551

KÖNIG, K., REINDELL, H., KEUL, J., ROSKAMM, H.:

Untersuchungen über das Verhalten von Atmung und Kreis-
lauf im Belastungsversuch bei Kindern und Jugendlichen
im Alter von 10-19 Jahren
Int. Z. angew. Physiol., Bd. 18 (1961), 393

KRÖNIG, B.:

Blutdruckvariabilität bei Hochdruckkranken,
Hüthig, Heidelberg 1976

KRÖNIG, B.:

Variabilität des Blutdruckes unter Ruhebedingungen
und unter alltäglichen Belastungen bei Hochdruckkranken
Cor & Coronarien, Congress aktuell (1982), 1

KRÖNIG, B.:

Blutdruckverhalten bei Gesunden und Hochdruckkranken
Cor & Coronarien (1982), 3

KUHN, H.B., TILLMANN, B., BIRCKS, W.:

Der arterielle Blutdruck nach operativer Behandlung der
Aortenisthmusstenose - Langzeitergebnisse bei 250 Patienten.
Z. Kardiologie 68 (1979), 326

LAUER, R.M., SHEKELLE, R.B.:

Childhood Prevention of Artherosclerosis and Hypertension
Raven press, New York (1980)

LEUPOLD, W.:

Leistungsmedizinische Tests.

in: Steiniger, U., Thiele, H. (Hrsg.)

Funktionsdiagnostik im Kindesalter

2. Aufl., VEB Georg Thieme, Leipzig 1979

LEWIN, H.:

Über den Blutdruck am ersten Krankenhaustag.

Inaugural-Dissertation, Hamburg 1959; zit. bei Menzel, W.:

Über labile und paroxysmale Hypertonie

Med. Welt (Stuttg.) 1961, 560

LÖLLGEN, H., SCHULTE, J. (eds.):

Ergometrie in der Praxis

perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft (1983)

LONDE, S.:

Blood pressure in children as determined under
office conditions

Clin. Pediatr. 5 (1966), 71

LOSSE, H.:

Behandlung der juvenilen Hypertonie

Dtsch. med. Wschr. 91 (1966), 2130

LUND-JOHANSEN, P.:

Hemodynamics in early essential hypertension

Acta med. scand. 183, Suppl. 482 (1967), 1

MAIDORN, K.:

Der arterielle Druck bei ergometrischer Leistung.

in: Mellerowicz, H. (ed): Ergometrie, Grundriß der
medizinischen Leistungsmessung.

Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore (1979)

MANGER, W.M., PAGE, J.H.:

Zur Pathogenese und Pathophysiologie der essentiellen Hypertonie

aus: Arterielle Hypertension; Hrsg.: J. Rosenthal 1984, Springer-Verlag

MARON, B.J., HUMPHRIES, J.O., ROWE, R.D., MELLITS, E.D.:

Prognosis of surgically corrected coarctation of the aorta: A 20 year postoperative appraisal, Circulation 47 (1973), 119

MATTHES, D., SCHÜTZ, P., HÜLLEMANN, K.D.:

Unterschiede zwischen direkt und indirekt ermittelten Blutdruckwerten

Med. Klin. 73 (1978), 371

MAXWELL, M.H., WAKS, A.U., SCHROTH, P.C., KARAM, M.:

Error in blood-pressure measurement due to incorrect cuff size in obese patients,

Lancet II (1982), 33

MEESMANN, W., STÖREKEN, H.J., BILLING, C.P.:

Die Bestimmung des Basisblutdruckes in der Praxis durch Ermittlung des sog. Entspannungswertes

Dtsch. med. Wschr. 95 (1970), 734

MELLEROWICZ, H.:

Ergometrie. Grundriß der medizinischen Leistungsmessung.

Urban & Schwarzenberg, München-Berlin(W)-Wien 1979

MENASCHE, P.H., BLONDEAU, PH., D'ALLAINES, C.,

PIWNICA, A., BRUNEL, A., DUBOST, C.:

Resultats lointains de la correction chirurgicale de la coarctation de l'aorta. Etude de 90 malades opérés depuis 11 à 15 ans.

Arch. Mal. Coeur 71 (1978), 181

MENDLER, N.:

Probleme der invasiven arteriellen Druckmessung.

in: Jesch, F., Peter, K. (eds.): Hämodynamisches Monitoring,
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo (1983), 1

MILLAR CRAIG, M., RAFFERY, E.B.:

The response to exercise in hypertensive subjects,
Clin. Sci. Mol. Med. 54 (1978), 18

NAGLE, F.J., NAUGHTON, J., BALKE, B.:

Comparisons of direct and indirect blood pressure with
pressure-flow dynamics during exercise
J. Appl. Physiol. 21 (1966), 317

NANTON, M.A., OLLEY, P.M.:

Residual hypertension after coarctectomy in children
Am J Cardiol 37 (1976), 769

NEREM, R.M., CORNHILL, J.F.:

Hemodynamics and atherogenesis
Atherosclerosis 36 (1980), 151

NIEDERBERGER, M.:

Prinzipien der Ergometrie
Herz 7 (1982), 1

PETERS, D.R., SCHÜBER, J.G.:

Blutdruck-Überwachung mit DINAMAP. Vergleich mit der
direkten Blutdruckmessung über Arterienkatheter
in: V. von Loewenich: Pädiatrische Intensivmedizin III,
Thieme, Stuttgart, New York (1982), 182

PETERS, D.R., SCHUMACHER, G.:

Blutdruckmessung im Kindesalter
der Kinderarzt 15. Jg. (1984), 1025

PILOSOFF, V., SCHÖBER, J.G., PETERS, D.R., BÜHLMAYER, K.:
Noninvasive oscillometric measurement of systolic (SAP),
mean (MAP), and diastolic (DAP) blood pressure (PB) in infants
with congenital heart defects after operation. A comparison
with direct blood pressure measurement.
Europ. J. Pediat. (1985), 324

RAMES, L.K., CLARDE, W.R., CONNER, W.E., REITER, M.A.,
LAUER, R.M.:
Normal blood pressure and the evaluation of sustained
blood pressure elevation in childhood. The Muscatine Study
Pediatrics 61 (1978), 245

REICHMANN, L.B., COOPER, B.M., BLUMENTHAL, S.:
Hypertension testing among highschool students
J Chronic Dis 28 (1975), 161

REINDELL, H., KÖNIG, K., ROSKAMM, H.:
Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens.
G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1967

ROSENBERG, H., IZUKAWA, T., PELECH, A., MOES, C.A.F.,
ROWE, R.P.:
Significance of exercise induced gradients in post-
coartectomy patients,
Abstract, Ann. Meet. Canad. cardiovasc., Soc., Toronto, 1983

ROST, R., HOLLMANN, W., LIESEN, L.:
Körperliches Training mit Hochdruckpatienten, Ziele
und Probleme.
Herz/Kreisl. 2 (1976), 680

ROST, R., HOLLMANN, W.:
Die Messung des arteriellen Drucks unter den Bedingungen
körperlicher Belastung.
Biomed. Technik 22, Ergänzungsband (1977), 209

ROWELL, L. B., BRENGELMANN, G.L., BLACKMON, J.R.,
BRUCE R.A., MURRAY, J.A.:

Disparities between aortic and peripheral pulse pressures
induced by upright exercise and vasomotor changes in man
Circulation 37 (1968), 954

RUTENFRANZ, J., HELLBRÜGGE, T.N., KEILHACKER, E.:

Über das Verhalten des Blutdrucks von Kindern und Jugend-
lichen bei körperlicher Aktivität und in Ruhe,
Z. Kinderhk. 85 (1961), 317

SAHLI, H.:

Die Sphygmanometrie (Tonometrie)

Lehrbuch der Klin. Untersuchungsmethoden für Studierende
und praktische Ärzte

Verlag Franz Deutike (1909), 158

SANNERSTEDT, R.:

Haemodynamic response to exercise in patients with
arterial hypertension

Acta med. scand. 180, Suppl. 458 (1966), 11

SANNERSTEDT, R.:

Die Hämodynamik bei verschiedenen Formen von Hypertonie
Triangel 9 (1971), 293

SAUR, R.M., LEAVERTON P.E., CONNER W.E.:

Coronary risk factors in 1829 schoolchildren; the Muscatine
Study

Cit. nach Boyer JC

Amer J. Cardiol 33 (1974), 784

SCHULTE, W., FEHRING, C., NEUS, H.:

Cardiovascular reactivity to ergometric exercise in mild
hypertension

Cardiology 70 (1983), 50

SCHUMACHER, G., SCHREIBER, R., BÜHLMAYER, K.:

Kardiovaskuläre Risikofaktoren - bereits im Kindesalter ?!
Herz + Gefäße 2 (1983), 74

SCHUMACHER, G., PETERS, D.R., SCHREIBER, R., MEISNER, H.,
SEBENING, F., BÜHLMAYER, K.:

Operationsindikation und Ergebnisse bei isolierter
Aortenisthmusstenose im Säuglings- und Kindesalter
Herz/Kreislauf 16, (1983), 640

SCHUMACHER, G., SCHREIBER, R., PETERS, D.R.:

Stufendiagnostik der arteriellen Hypertonie im
Kindes- und Jugendalter
der Kinderarzt 15. Jg. (1984), 1131

SEGALL, H.N.:

How Korotkoff, the surgeon discovered the auscultatory
method of measuring arterial pressure
Annals of Interna Medicine 83 (1975), 561

SEHESTEDT, J., KORNERUP, H.J., PEDERSEN, E.B.,
CHRISTENSEN, N.J.:

Effects of exercise on plasma renin, aldosterone and
catecholamines before and after surgery for aortic
coarctation
Europ. Heart J. 4 (1983), 52

SELIGER, V., BARTUNEK, Z.(eds.):

Mean values of various indices of physical fitness
in the investigation of czechoslovak population aged
12-55 years
CSTV, Prag 1976

SHEPPARD, L.C., JOHNSON, T.S., KIRKLIN, J.W.:

Controlles study of brachial artery blood pressure
measured by a new indirect method
J. Assoc. Adv. Med. Instrum. 5 (1971), 297

SIEGENTHALER, W., KUHLMANN, U.:

Hypertonie (14)

in: Differentialdiagnose innerer Krankheiten

Thieme-Verlag, Stuttgart 1984

SIMON, A.B., ZLOTO, B.S.:

Coarctation of the aorta: longitudinal assessment
of operated patient

Circulation 50 (1974), 456

STURM, JR., A., PUENTES, F., SCHEJA, H.W.:

Ursachen der Blutdruckdifferenzen zwischen rechtem
und linkem Arm

Dtsch. med. Wschr. 95 Jg. (1970), Nr. 38, 1914

TAYLOR, S.H.:

The circulation in hypertension

in: Burlex, D.M. G.F.B. Birdwood, J.H. Fryer,

S.H. Taylor (eds.): Hypertension - its nature and treatment.

Metropolis press, London 1975, 29

VETTER, H., VETTER, W.:

Praktische Hypertonie (1982), 4

Georg Thieme-Verlag

WIDIMSKY, J., JANDOVA, R.:

Mild hypertension at young age - A long-term follow-up

Cor Vasa 18 (1976), 233

WIDIMSKY, J., JANDOVA, R.:

Long-term prognosis of juvenile Hypertension

Cor Vasa 19 (1977), 299

WILSON, L., MEYER, B., ALBURY, J.:

Early prediction of hypertension using exercise blood
pressures

Med Sci Sports 11 (1979), 110

WILSON, N.V., MEYER, B.M.:

Early prediction of hypertension using exercise blood pressure

Prev. Med. 10 (1981), 62

ZERZAWY, R.:

Telemetrie von arteriellem Druck und Herzfrequenz unter alltäglichen und sportlichen Belastungen im Vergleich zur Fahrradergometrie.

in: Franz, I.W. (ed.): Belastungsblutdruck bei Hochdruckkranken, Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1981, 161

9. L E B E N S L A U F

Am 20.05.1959 wurde ich, Victor Verpoorten, als Sohn des selbständigen Kaufmannes Viktor Verpoorten und seiner Ehefrau Jutta Verpoorten geb. Iwanitz in 5300 Bonn 1 geboren.

Von 1965 bis 1970 besuchte ich die katholische Grundschule am Venusberg in Bonn, nach deren Abschluß ich auf das Friedrich-Ebert-Gymnasium wechselte.

Dort erlangte ich am 22.05.1979 das Zeugnis der allgemeinen Hochschulreife (Abitur).

Am 12. September 1979 immatrikulierte ich mich an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn.

Im August 1981 legte ich auch dort die ärztliche Vorprüfung, im August 1982 den ersten Abschnitt der ärztlichen Prüfung und im August 1984 den zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung ab.

Anschließend wechselte ich den Studienort und wurde Student an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Meine Ausbildung während des Praktischen Jahres erhielt ich von Oktober 1984 bis Oktober 1985 im Klinikum Großhadern unter Leitung von Herrn Prof. Dr. G. Paumgartner (Innere II) sowie von Herrn Prof. Dr. J. Lissner (Radiologie).

Die Ausbildung in Chirurgie erfolgte bei Herrn Prof. Dr. G.W. Prokscha im Krankenhaus München-Schwabing.

Mein ärztliches Abschlußzeugnis (3. Staatsexamen) legte ich im April/Mai 1986 in München ab.

